雙月刊

核能簡訊

NUCLEAR NEWSLETTER

NO. 162
2016 OCTOBER

戈壁灘上的曙光——

北山地質處置實驗室參訪紀行

核能簡訊 NUCLEAR NEWSLETTER

NO.162 雙月刊

OCTOBER 中華民國一〇五年十月號

封面故事

專題報導

熱門話題

阮的心聲

真相問與答

原子能小故事

健康快遞

核能脈動

核能新聞

出版單位：財團法人核能資訊中心
地　　址：新竹市光復路二段一〇一號研發大樓 208 室
電　　話：（03）571-1808
傳　　真：（03）572-5461
網　　址：http://www.nicenter.org.tw
E-mail：nicenter@nicenter.org.tw
發 行 人：朱鐵吉
編輯委員：李四海、汪曉康、陳條宗、郭瓊文、劉仁賢、謝牧謙（依筆畫順序）
主　　編：朱鐵吉
文　　編：鍾玉娟、翁明琪、林庭安
執　　編：羅德禎
設計排版：長榮國際　文化事業本部
地　　址：台北市民生東路二段 166 號 6 樓
電　　話：02-2500-1175
製版印刷：長榮國際股份有限公司　印刷廠
行政院原子能委員會敬贈　廣告
台灣電力公司核能後端營運處敬贈　廣告

編者的話

8 月 23 日，台灣代表團一行 33 人前往甘肅省敦煌市參加「第 6 屆廢棄物地下處置學術研討會」，會後參訪北山中等深度地層處置實驗室。

近年來，中國在放射性廢棄物地下處置研究方面獲得一系列重要成果，尤其是高放射性廢棄物地質處置場址評估與地下實驗室研究工作，都獲得突破性進展。最難能可貴的是，從 1989 年開始，經過各領域專家多年的調查、研究、評選之後，在中國西北地區荒漠戈壁灘上的北山場址，找到一處幾無人煙、氣候乾旱、無常年河流經過，擁有 40×35 平方公里完整花崗岩體，地質活動穩定的地區。最重要的是，此處屬於無經濟價值的土地，無大型礦產，經濟前景黯淡。北山場址除了先天地質條件優良之外，更有方圓一百多公里內只有兩戶人家，沒有民眾抗爭之虞的後天優勢。

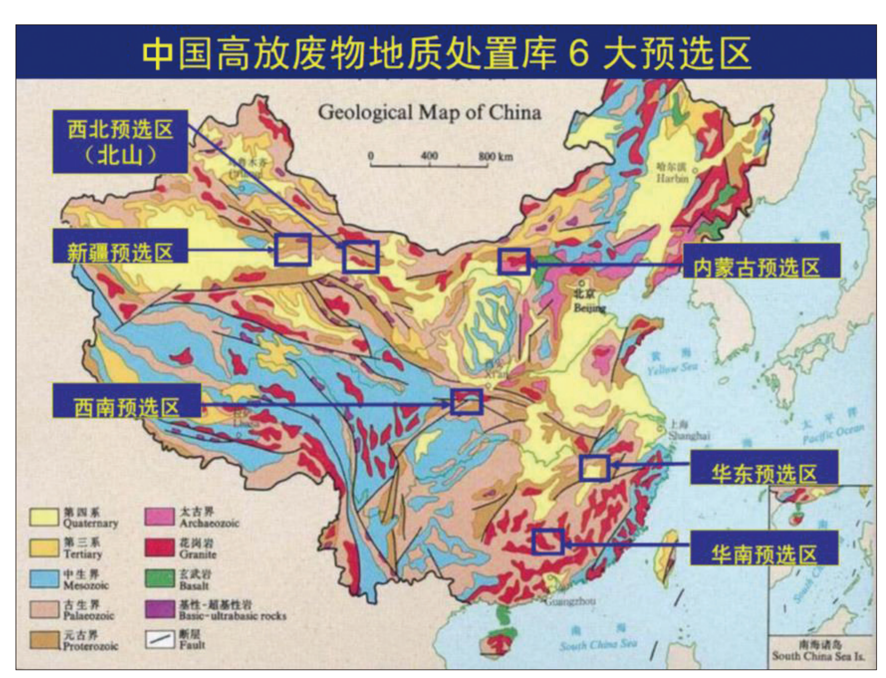
北山地下實驗室預計 2020 年建造完成，2050 年時中國將完成高放射性廢棄物最終處置場。反觀我國，不要說高放射性廢棄物處置實驗室，就連低放射性廢棄物的處置場選址都處處碰壁，政府答應蘭嶼地區民眾貯存場廢料筒將遷離，但是無處可去。

我國在 1960 年代就已經開始使用核電，是亞洲地區數一數二的科技先進國家。自從 1985 年核四廠第一次停工之後即風波不斷，直到福島事故發生，國內反核聲浪達到高峰，迫使政府下令核四廠 1 號機封存、2 號機停工，核一廠確定不再延役…。在國內核能安全爭議不斷期間，發生福島核災的日本重新啟動 4 座反應爐；韓國除了自己新建機組之外，還出口核電技術成為世界核能強權。原本遠遠落後我們的中國大陸，目前有 23 部機組運轉，到 2020 年，發電能力將提高至 5,800 萬瓩；預計到 2030 年，中國將有 110 座以上的核電機組加入運轉，對岸早已經高速超車，遠遠將我們拋在腦後。

站在一片荒漠的戈壁灘上，眼望著北山地下實驗室坑道的入口，我們看見山丘之後陽光燦爛耀眼，耳中響起一句話：「成功不必在我。」雖然現下身處重重困境，核能從業人員一定要挺住、莫忘熱情與初衷。只要有個適合的處置場址，靜待曙光乍現，一切就有希望。

中國高放地下處置**研究大步走**

文‧編輯室



▲中國高放射性廢棄物地質處置場 6 大候選場址

90 年代開始，中國最早的核電廠投入商轉，大多數的用過核燃料是放置在核電廠的用過燃料水池內，目前許多核電廠的用過燃料水池即將載滿。

其中大亞灣核電廠用過燃料水池已經飽和，2013 年 6 月開始，只能將用過核燃料轉運至嶺澳核電廠處理。另一個運轉較久的百萬瓩級核，電基地的田灣核電廠也面臨類似問題，預計在今（2016）年第 9 次換料大修之後，將達到用過燃料水池存放的上限。中國政府意識到，用過核燃料後處理廠與高放射性廢棄物處置場的建設刻不容緩。

今年 3 月，中國人民代表大會中提出的《國家十三五規劃》中，訂定建設高放射性廢棄物處置地下實驗室的目標——2020 年完成地下實驗室的建造。

第 6 屆廢棄物地下處置學術研討會於敦煌舉行

為了進一步推動放射性廢棄物地下處置研究的發展，繼首屆（2006 年，北京）、第 2 屆（2008 年，甘肅敦煌）、第 3 屆（2010

年，浙江杭州）、第 4 屆（2012 年，江西南昌）、第 5 屆（2014 年，四川綿陽）的放射性廢棄物地下處置學術研討會成功召開之後，在有關部門和中國核學會的支持下，中國岩石力學與工程學會放射性廢棄物地下處置專業委員會、中國核學會輻射防護分會和中國環境科學學會核安全與輻射環境安全專業委員會，訂於 2016 年 8 月 22-26 日再度在甘肅省敦煌市聯合舉辦第 6 屆廢棄物地下處置學術研討會。

近年來，中國在放射性廢棄物地下處置研究方面獲得一系列重要成果，尤其是高放射性廢棄物地質處置場址評估與地下實驗室研究工作都獲得突破性進展。因此，本次會議著重於高放射性廢棄物地下處置的理論、實踐探索、工程實例、新技術與新方法、國際進展等議題進行廣泛的學術交流。

主辦單位除了邀請中國有關部門的領導、院士、專家和國外科研機構代表進行 30 餘篇專題報告，高放射性廢棄物地質處置重點研究專案的承研單位，也針對專案進展與研究成果在研討會中進行交流。此外，主辦單位特別安排與會代表前往高放射性廢棄物地質處置場——北山預選區進行現地技術考察。

由於我國同樣面臨高放射性廢棄物地層處置的研發需求，中華民國核能學會號召了原子能委員會放射性物料管理局、輻射偵測中心、核能研究所、台灣電力公司、工業技術研究院、台灣大學、中央大學、淡江大學、清華大學、益鼎工程公司、中興工程顧問公司、台灣核能級產業發展協會，以及核能資訊中心，共計 33 位來自產、官、學、研相關領域的專家學者參與，是歷屆規模最大的代表團。

除了來自我國的專家學者之外，捷克放射性廢棄物管理局局長斯洛伐克（Jiri Slovak）也出席，並發表專題報告，說明捷克目前高放射性廢棄物地層處置的研發現況。據瞭解，中國核學會、中核集團與捷克於本次研討會前一天已簽署合作備忘錄，也使得本次會議別具一層國際化合作的實質意義。



▲ 中國高放射性廢棄物地層處置的階段性目標

高度承諾妥善處置放射性廢棄物

中國環保部核安全總工程師劉華在致詞時表示，高放射性廢棄物最重要的是必須遠離生物圈，而且應一步到位，以符合放射性污染防制法相關規定。放射性廢棄物若能安全處置，對於順利發展核工業具有決定性影響。環保部負有監督之責，不論是對國際、或是對全國國民，都已有高度承諾，將依照國際原子能總署的標準，妥善處置各種放射性廢棄物。

目前中國在甘肅省北山、廣東省大亞灣的北龍、四川省飛鳳山等地進行高、中、低放射性廢棄物處置場的科研工作，其中中低放廢棄物處置場將成為環保部的配套工程。高放射性廢棄物的地下實驗室，中核集團應成為領軍前頭的位置，從集團層面加以整合、平衡；地下實驗室的環境影響評估計畫也應由中核集團提出，期望能在「十三五」期間獲致重大進展。

由於高放處置相關議題在全世界的政治、技術方面都有其敏感性，應小步、穩健地推動。現今公眾溝通獲得高度重視，資訊應透明、公

表 1. 第 6 屆廢棄物地下處置學術研討專題報告		
報告人	題目	所屬單位
潘自強	放射性廢棄物處置—核能開發中急待開拓的新科技領域	中核集團
陳寶軍	中等深度處置規劃和研究的若干思考	中核集團
王駒	中國高放射性廢棄物地質處置地下實驗室選址及場址評估	核工業北京地質研究院
栄 峰	中國高放射性廢棄物地質處置地下實驗室設計研究進展	中核第四研究設計院
Jiri Slovak	Current DRG development and DRG site selection in the Czech Republic and underground research in new facility URF Bukov	捷克放射性廢棄物管理局
常向東	高放射性廢棄物地質處置選址要素與北山侯選場址	環保部核與輻射安全中心
郭召杰	北山預選區新生代構造動力學背景	北京大學
楊長義	台灣潛在場址 THM 試驗之概念模型配置	淡江大學
崔大慶	高放射性廢棄物鐵基容器材料和亞鐵礦物對多價態核種的還原性沉澱	中國原子能科學研究院
范仲	中國含長壽命核種中放射性廢棄物中等深度處置發展展望	中核清原公司
陳亮	高放射性廢棄物處置岩體適宜性定量評估方法（Q_{HLW}）及其應用研究	核工業北京地質研究院
劉春立	北京大學高放射性廢棄物地質處置核種遷移研究 10 年進展回顧與展望	北京大學
李曉昭	圍岩裂隙系統的辨別評估	南京大學
葉為民	化學影響下高廟子膨潤土體變特徵研究	同濟大學
董俊華	高放射性廢棄物地質處置環境中金屬腐蝕行為研究進展	中國科學院金屬研究所
劉月妙	緩衝回填材料砌塊制備技術研究進展	核工業北京地質研究院
羅輝	高放射性廢棄物地質處置地下實驗室候選場址三維地質建模研究	核工業北京地質研究院
董家鈞 戴秉倫	高圍壓岩滲透率 / 孔隙率量測儀	中央大學
劉健	高放射性廢棄物處置花崗岩三維裂隙網絡建模技術研究	核工業北京地質研究院
李奕賢	三維離散裂隙網絡流動及傳輸不確定性分析	中央大學
高敏 劉原麟	高放射性廢棄物地質處置數據資源集成開發最新進展	核工業北京地質研究院
馬洪素	高放射性廢棄物地質處置地下實驗室 TBM 開挖可行性初步分析	核工業北京地質研究院
李瑩	飽和度與晶體粒徑對北山花崗岩斷裂韌度的影響研究	核工業北京地質研究院
林文勝	高放射性廢棄物處置設施受熱 - 水 - 力 - 化耦合作用模式分析之芻議	台灣大學水工所
曹勝飛	緩衝材料多場耦合試驗台架研究	核工業北京地質研究院
梁正宏 吳尚謙	A parametric study of burnup credit criticality analyses for BWR spent fuels	清華大學
高玉峰	壓實膨潤土氣體滲透特性研究	核工業北京地質研究院
陳亮 劉健	技術參觀地點—北山坑探設施介紹	核工業北京地質研究院

開，並加強科普工作，增加民眾的接受度。

成功不必在我 著重技術傳承

中國核學會副理事長雷增光則進一步說明，「十三五」的目標是：2020 年時應完成高放射性廢棄物地下實驗室，2050 年時則完成高放射性廢棄物最終處置場。甘肅北山的地質條件優良，附近幾無人煙，是理想的地點；目前已進行 34 口鑽孔，經過專家評選，確定可成為高放處置場的場址。

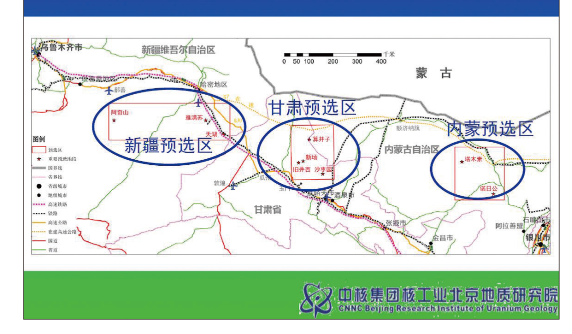
目前中國有 2,860 萬瓩的核電容量在運轉中，有 2,676 萬瓩正在興建，另有將近 5,000 萬瓩在計畫中，放射性廢棄物必然需要處理，更需要數代人、數千年的共同努力。「成功不必在我，但是技術必須傳承。」此外，也必須加強國內外合作、逐步推動。工程可早可晚，研究卻不能稍停，因此北山先期工程、交通等基礎建設應大力推動。

遵守國際核安全原則處置廢棄物

為中國高放地下處置戮力奉獻、備受推崇的潘自強院士，已高齡 80 歲，仍親自出席發表演說──「放射性廢棄物處置，核能發展中急待開拓的新的科技領域」。他強調，科研人員必須承認目前的認知有限，應考慮到可將高放射性廢棄物回收、再加強屏蔽相關技術，不僅僅是為了進行再處理，未來科技日趨進步，一定會研發出更妥善的作法。

潘院士針對高放處置管理作業提出建議：

1. 建立國家放射性廢棄物管理機構。
2. 設立國家放射性廢棄物管理公司，統一管理高/中放廢棄物處置。
3. 儘快改變中國放射性廢棄物法規和導則停滯的現狀（中國國家核安全局已制訂計畫）。
4. 制訂國家層次的放射性廢棄物管理科研規劃。



▲ 中國有多處候選場址適於建造地層處置實驗室

5. 建立以地下實驗室為核心的國家高放廢棄物地質處置研究平台。
6. 儘快啟動中等深度處置場的建設。
7. 在科技部與國家自然科學基金項目中，設立高放廢棄物地質處置專項。

新建機組與處置場址掛鉤 未雨綢繆

目前中國已完工的中低放處置場有兩個：廣東的北龍處置場與甘肅的西北處置場，都是只接收該省自產的廢棄物；位於四川的飛鳳山處置場（西南處置場）則處在建設階段。

已運轉 30 餘年的秦山核電廠，其用過核燃料的暫存庫已近飽和。據媒體報導，秦山核電廠中低放固體廢棄物暫存庫已面臨滿載的「大限」，但是計畫中的華東中低放廢棄物處置場選址仍未確定。針對這個問題，秦山核電廠正在建造用過核燃料乾式貯存設施，以延長用過核燃料在廠區內的暫存時間。為了打破僵局，目前中國國防科工局和環保部核安全局有意將核電建設計畫與廢棄物處置場建設掛鉤，也就是說想建新機組，就必須接受處置場。

相較於中國在地質處置研發方面獲得的豐碩成果，以及政府推動核能後端營運的魄力，台灣高放地層處置研究進度仍處於原地踏步的困境，連較容易解決的中低放處置場選址也是處處碰壁，只能藉由各種學術與技術交流，尋求任何突破困境的可能性。

戈壁灘上的曙光——北山地質處置實驗室參訪紀行

文・編輯室



▲一片荒漠的戈壁灘上，人口密度：零

北山，即馬鬃山，甘肅河西走廊北端，屬溫帶荒漠氣候，年均氣溫 3.9℃，1 月月均氣溫 -17.5℃，7 月月均氣溫 12.1℃。年降水量 80.7 毫公尺，年蒸發量 3,031 毫公尺。無常年性河流與湖泊，土壤以棕色荒漠土為主，植被蓋度極小，全區景觀單調荒涼，多為無人區。　　—摘自《甘肅北山》詞條

在這距離台灣百萬公里之遙的中國北山地區，整片杳無人煙的黑色荒蕪大地上，有一群人，為著時間尺度長達 10 萬年的偉大計畫，在深度達 350 公尺的地底下，冒著極度的危險鑽孔、打鑿、開挖隧道…。

這是中國核工業北京地質研究院北山地質處置實驗室的現場，一群科研人員長期在戈壁灘上進行地質鑽探研究工作。據瞭解，扣除因大雪封山所有人員禁止進出的時間，曾有工作人員在此地工作超過 280 天。

最初最初，工作人員在此只有簡易帳篷勉強遮風蔽雨，直到近兩年才有貨櫃屋、組合屋可供起居之用。難怪有人笑稱，學地質的過的生活和原始人差不多。他們必須長期深處荒

山野嶺，與家人分離，生活條件極差，實在非常人所能忍受。

地下實驗室場址評選過程

依據中國政府訂定的「地質處置實驗室選址基本準則」，相關科研單位進行場址的篩選：

- 應位於高放射性廢棄物地質處置庫（處置場）重點預選區
- 應位於有代表性的岩體或岩層中
- 場址能夠滿足開展各種地下現場實驗的要求
- 場址應獲得當地政府和居民的同意
- 場址應滿足國家有關工程建設和環境保護等要求

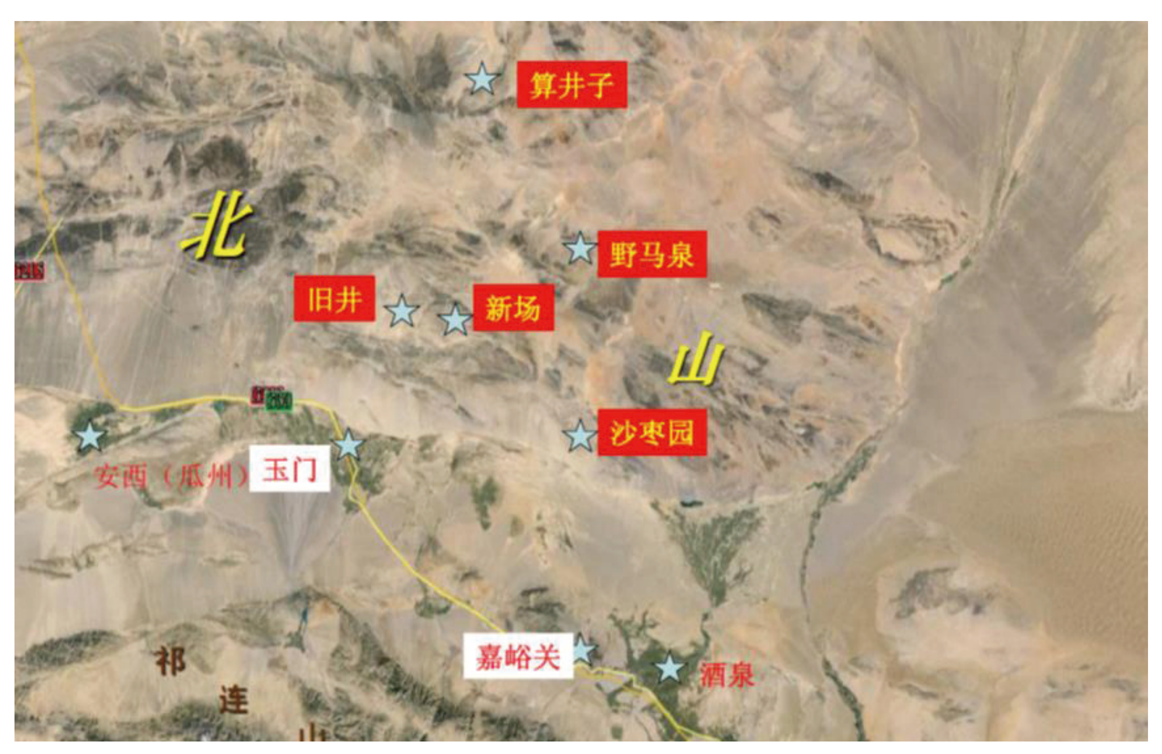
據此評選出 6 個高放射性廢棄物處置實驗室預選區——內蒙古預選區、華南預選區、西北預選區（北山）、西南預選區、華東預選區、新疆預選區。

接下來的推展目標是從新疆、甘肅、內蒙古 3 個預選區的 9 個場址中篩選出適合的地下實驗室場址。

為什麼是北山？

依「地下實驗室選址導則」進行場址的評選，在考慮選址因素的權重時，將社會經濟條件與任務條件放在首位，尤其是地方政府的態度和距離已有核設施的遠近列為最優先考慮的因素；然後再考慮的是：定性與定量結合——以定性為主，循序漸進、分步進行。

在區域地質研究、區域地質穩定性研究和區域水文地質研究的基礎上，對每一個場址都展開系統性的場址評估：地面地質調查、水文地質調查、地球物理測量、鑽孔施工等作業，最後篩選出甘肅北山 4 個場址：舊井場



▲北山地質處置實驗室位於新場地區



▲北山地質處置實驗室地下坑道長達 150 公尺的陡坡，走來有如登天梯



▲北山新場場址地貌

址、新場場址、沙棗園場址、算井子場址較為適合。

由於甘肅北山是中國高放射性廢棄物處置庫首選預選區，位於中核甘肅核工業產業園區附近，具有有利的地質、水文等條件，因此甘肅北山的 2 個場址排序在最前面，依序為：1、甘肅的新場，2、甘肅的沙棗園，3、新疆的雅滿蘇，4、內蒙的諾日公。

全世界首屈一指的優良處置場址

中國從 1989 年即開始在北山進行調研性質的工作，2000 年 7 月 8 日北山 1 號孔開工鑽探，到 2011 年 7 月，北山被選定為中國高放射性廢棄物地質處置場首選預選區；2015 年 6 月 26 日，北山地質處置實驗室正式開工；2016 年 1 月 12 日，6 位院士和 23 位各領域專家在北京召開「地下實驗室選址專家諮詢會議」，詳細討論甘肅、內蒙、新疆候選場址的調查情況，與會專家經過評選、投票，提出推薦場址建議：甘肅北山的新場場址為推薦場址，甘肅北山的沙棗園則為備選場址。

根據各種科學研究調查，北山候選區的地質屬於花崗岩，擁有 40×35 平方公里完整花崗岩體，是「最穩定活動區」。氣候乾旱、無常年河流經過，水文地質條件有利於地質處置。經濟條件部分，距離甘肅省會蘭州 800 公里，距離肅北縣城 300 公里，交通方便，地形平坦，人煙稀少，無經濟價值的土地，無大型礦產，經濟前景黯淡。

然而，北山場址因為社會經濟條件有利、地殼穩定、花崗岩體規模巨大、完整、裂隙較少、水文地質條件有利：地下水弱含水、低滲透、低流速、還原性；工程地質：岩體工程品質佳，岩石高強度、高密度、低滲透、地應力適中等，堪稱是全世界難得一見、首屈一指的優良場址。

原本是毫無經濟價值的戈壁灘，卻是核能後端營運者眼中的一塊無價寶玉！

雖然如此，在北山新場的安全管理工作上，仍有其嚴峻的挑戰：自然環境惡劣、交通極為不便、無通訊信號、工程地質條件複雜、穿插進行現場試驗、安全管理要求高等難關，都需要一一克服。

北山地質處置實驗室主體結構：工程最大埋深 50 公尺，工程結構主要由斜坡道（146 公尺長，傾角 20° ）、平巷（132 公尺長）、試驗巷道（92 公尺長）、水倉和通風鑽孔等組成。

由於建設「特定場區型」地質處置實驗室，有可能擴大成為實際的處置庫，可將場址

評估、調查的資料，直接轉換為工程設計和安全評估；此外，建設階段也可培訓人員、進行方法學研究，同時可以避開處置庫場址的審核週期，這些都是中國當局目前較為現實的考慮。

至於地質處置實驗室的定位，是計畫建設在處置庫重點預選區、具有代表性的岩石之中，大型、功能較為完備且具有擴展功能、位於 560 公尺深度、具有國際先進水準、對國內外完全開放、可做為高放射性廢棄物處置研發的科研設施與平台。

國際高放處置研究的亮點

各項條件如此優異的地質處置場址，已引起國際社會的高度重視。2014 年 5 月，美國總統顧問、美國國會下屬的美國核廢棄物技術評審委員會專家、美國科學院院士來此考察。2012 年 12 月，法國放射性廢棄物管理國家評估委員會專家也組團考察北山實驗室。來訪者無不讚嘆此處的完美。

結語

當台灣代表團抵達敦煌時，聽說戈壁灘上正「下大雨」，而且雨勢大到出現「水流成



▲北山的中深度地質實驗，為中國高放射性廢棄物處置作業帶來一線曙光。



▲北京地質研究院科研人員冒雪進行實驗作業

河」的情況。這是一個令人難以想像的概念，這片戈壁灘一整年的蒸發量遠遠大於降水量，應該不曾發生過水流成河這種情況。但是，對來自一場午後對流強降雨就超過 100 公釐地區的我們，當地人的開心程度也是我們全然無法想像的地步。

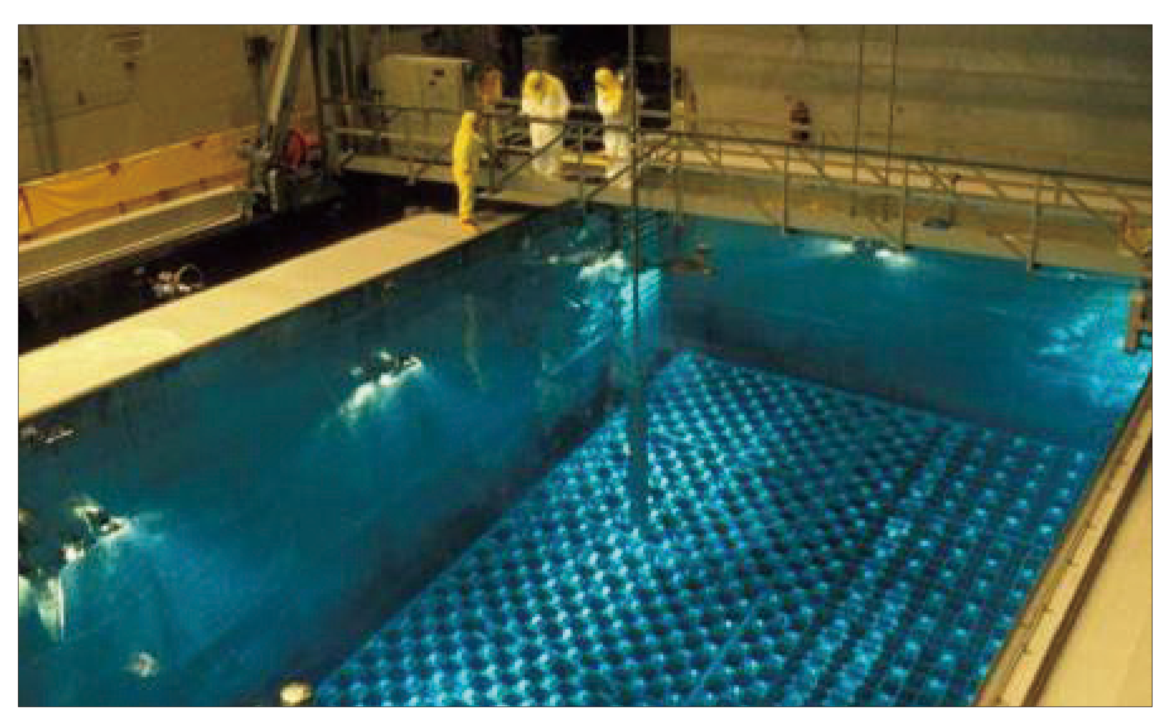
另一件超乎我們想像範圍的事，是戈壁灘上完全沒有既定道路，也沒有路標指引，上北山實驗室只能仰賴對地形、路線熟稔的老師傅開車；一旦水流成河，行車軌跡被沖刷得模糊難辨，意味著無法「重蹈覆轍」，即使是老師傅，也只能在天地一片蒼茫中憑著方向感摸索前進。

處於如此原始的荒漠戈壁中，北山場址卻擁有全世界最適合進行高放射性廢棄物地層處置的先天地質條件；而方圓 100 多公里只有 2 戶住家，並且還是一對兄弟，沒有民眾反對設場抗爭的困擾，這是全世界無人能出其右的後天優勢，北山遂成為國際間矚目的焦點與話題。預計 2025 年將完成地下處置庫的興建工程，備受各界期待。

北山的中深度地質實驗，為中國、也為全世界的高放射性廢棄物處置作業帶來一線曙光。

高放射性廢棄物**要怎麼處理？**

文・洪國鈞



▲圖 1. 使用用過燃料池進行濕式貯存（圖片來源：http://blog.udn.com/H101094880/7549590）

一般所說的核廢料，分成兩種：第一種是高放射性廢棄物，也就是用過核燃料，因為已經明確決定不再繼續使用而產生的廢棄物；第二種則是低放射性廢棄物，也就是除了高放射性廢棄物以外的放射性廢棄物的總稱。前者通常來講，放射性較強、放射性元素的成分也比較複雜外，通常涉及核子武器擴散的相關議題，所以在處理上有比較多的顧慮，但並非在技術上完全無解。而更多的困境是來自於國際間對於核物料保防，也就是和禁止核子武器擴散的政治外交因素有關。以下是針對技術上處理高放射性廢棄物的方法，做一些簡要的說明：

暫時貯存

暫時貯存一般分成放在水池內，以水為流體，透過電力或馬達驅動冷卻水，以強制性而非自然對流的方式提供冷卻，以移除用過核燃料當中，因核分裂產生的放射性物質，因為衰變所累積的衰變熱，稱為「濕式貯存」（如

圖 1）。

濕式貯存通常是針對剛退出反應爐數天至數年，用過核燃料具有較高的衰變熱，須採用水池冷卻，且需耗用電力以確保冷卻水循環。由於此種冷卻方式須配備幫浦、熱交換器，且為淨化池水，須配備淨化系統，故平時需常備人員進行運轉、維護。

另一種則是將用過燃料以特製的燃料護箱貯存，利用空氣進行自然對流冷卻的「乾式貯存」（如圖 2）。乾式貯存的散熱設計無需外部電源，常溫空氣經由混凝土護箱底部的進氣口流入，而熱空氣則由護箱頂部的出氣口流出，即可移除密封鋼筒所產生的熱量。乾式貯存設施無須配備其他動力機械設備，因此不會有機械故障的問題。

而乾式貯存應該在機械設計上盡可能的簡化，並減少強制性（須提供額外動力）的冷卻或保護裝置；因此，除非是有其他目的，例如，未來將對用過燃料進行再處理回收再利用，否則將乾式貯存護箱安置在室內結構物中，或是採用空調維持溫度與濕度的作法，反而會喪失了乾式貯存不依賴額外動力以達到長期冷卻的設計目的 [1]。

乾式貯存已經是相當成熟的技術，也是國際間普遍採行的做法。至 2014 年 10 月為止，全世界共有 121 座乾式貯存設施，分布於歐洲、美洲、亞洲及非洲共 22 個國家；其中美國的乾式貯存設施已有 69 座，德國 16 座、加拿大 9 座。美國第一座乾式貯存設施運轉至今已經 30 年，已獲得政府核准運轉至 2046 年，合計 60 年。

除了上述的乾式貯存設施之外，截至 2014 年 10 月止，世界上用過核燃料的濕式中期貯存設施，計有 31 座。然而，自 2000 年



▲ 圖 2．美國 Palo Verde 核電廠乾式貯存設施（圖片來源：http://www.aec.gov.tw/webpage/UploadFiles/headline_file/2013128091630120259.jpg）

迄今，國際上僅新增 1 座濕式貯存設施，位於中國甘肅省，於 2003 年商業運轉；其餘新設置的都是乾式貯存設施，超過 70 餘座之多。顯見乾式貯存的作法已經成為用過核燃料貯存的主流。

再處理

再處理是指用化學分離和純化的方法，從用過的核燃料中分離出可再利用的鈾與鈽元素。但現代核燃料再處理已不僅僅著重於回收鈾與鈽，還可以分離其他有用的元素，例如超鈾元素，甚至是貴金屬。

再處理的技術最初是在 1949 年，由美國橡樹嶺國家實驗室成功的開發出了第一種溶劑萃取方法，來回收用過核燃料中的鈾和鈽，稱為「鈽鈾萃取法」，這種方法一直沿用至今[2]。美國在南卡羅來納州薩瓦那河區（Savannah River）建立了大規模的鈽鈾萃取工廠，在紐約州西谷村（West Valley）也興建了一座較小的鈽鈾萃取工廠。後者已於 1972 年關閉。

由於印度在 1970 年代初期掌握了核燃料再處理技術，並進行了鈽相關的核子武器實驗，引發了美國對再處理技術可能引發核子武器擴散的擔憂。1976 年 10 月，美國總統福特頒布行政命令，無限期中止美國的商業再處理過程，以及從用過核燃料中回收鈽元素[3]。1977 年美國總統卡特宣布禁止對商業反應爐的用過核燃料進行再處理，其動機依然是擔心核子武器擴散[4]。

目前營運中的再處理工廠，主要的有法國的亞瑞華（AREVA NC）公司的拉阿格（La Hague）再處理工廠，該廠具有可處理全球近 50% 商用輕水式反應爐用過核燃料的能力[5]。其他主要設施如英國雪拉菲爾德（Sellafield）再處理廠（圖 3）、俄羅斯的瑪雅克（Mayak）再處理廠、日本的東海村、六個所村核燃料廠以及印度的塔拉普爾（Tarapur plant）再處理廠等等。



▲ 圖 3. 英國雪拉菲爾德再處理工廠處理用過核燃料（圖片來源 http://www.sellafieldsites.com/solution/spent-fuel-management/thorp-reprocessing/）

經過回收的燃料稱為鈽鈾混合燃料（MOX），其反應度與一般濃化鈾燃料有差異，需重新進行安全分析才能使用，目前歐洲約有 30 座核子反應爐，分屬法國、德國、荷蘭、比利時與瑞士，是使用 MOX 燃料，日本福島一廠 3 號機也有使用 MOX 燃料。

深層地質處置

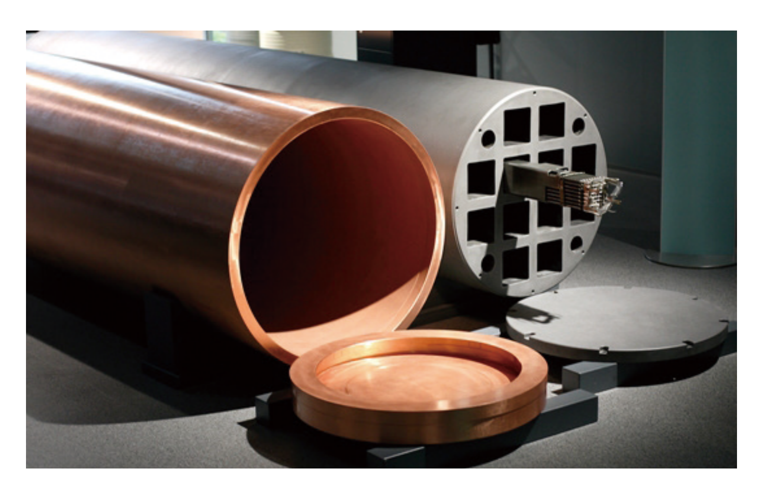
深層地層處置是以多重障壁的設計，將用過核燃料置放於地下數百公尺的穩定地層中，利用廢棄物體、包封容器、工程障壁及周圍岩層等構成層層保護，使其與人類生活圈完全隔離。原則上需選定深度約 300 至 1,000 公

尺的穩定地質，確保在數萬年的時間週期內，高放射性廢棄物中的放射性物質都不致進入生態圈 [6]。

目前，作為軍事用途的最終處置場營運是位於美國新墨西哥州的廢棄物隔離先導場（WIPP），自 1999 年 3 月開始接收接收超鈾廢棄物進行處置。目前尚未有以商業用途的最終處置場營運，瑞典與芬蘭（圖 4）正在興建最終處置場。美國雅卡山（Yucca Mountain）最終處置場則因政治問題無法營運。

由於用過核燃料經過再處理後，可回收 9 成以上的鈾與鈽做為資源應用，因此將其廢棄不用而直接進行處置，是否須兼顧世代正義留給後世子孫取出使用的機會；抑或是斷絕任何可以取出用過核燃料的途徑，避免放射性物質在未達萬年的隔離週期前遭意外取出，進入生態圈，各國均依國情與社會環境進行深入與全面性的討論。

其他的處置方法，如外太空處置，則因人類技術尚未成熟，並有鑑於過去俄國裝載核反應爐的人造衛星 KOSMOS-954 發生墜毀意外，目前尚未有任何規劃方案提出。



▲ 圖 4．芬蘭深地層處置銅製用過燃料裝載容器（圖片來源：http://finland.fi/life-society/finnish-nuclear-waste-may-rest-in-peace/）

再使用

從輕水式反應爐退出的核燃料，雖然已經無法在輕水式反應爐中繼續發電，然而，因為輕水式反應爐的物理特性，必須使用經過濃化程序提升核燃料中鈾的濃化度，達到 3%-5%，以克服輕水式反應爐中氫原子吸收中子的不利效應。然而，當燃料使用完畢，該批次燃料的鈾已經消耗，以至於繼續使用該批次的燃料，其出力已經無法讓輕水式反應爐滿載發電，而必須退出反應爐時，燃料的濃化度約含有 0.5%-0.9% 的鈾 235，以及 0.6% 的鈽 239，仍高於天然鈾中鈾 235 的濃化度（約含有 0.71% 的鈾 235）。因此，可以將這些輕水式反應爐中的回收鈾燃料，重新放入可以以天然鈾發電的重水式反應爐中繼續使用，那麼這些在輕水式反應爐雖然已經無法達成滿載出力的用過核燃料，仍可經由重水式反應爐繼續利用尚未使用殆盡的鈾燃料，繼續發電。

當然，也可以使用再處理程序後萃取獲得的回收鈽元素與鈾元素，並使其與經過濃化後的耗乏鈾（鈾 235 的濃化度已低於 0.71%）尾礦重新拌合，達成與天然鈾濃度相當的再製鈾。也可以經由重水式反應爐繼續利用這些回收鈾（鈽），繼續發電，並達成最佳的鈾燃料利用率。

一般來說，目前商轉用的重水式反應爐幾乎都是 PHWR，即類似壓水式反應爐，即一次側（即通過爐心）的冷卻水採用重水，而二次側（通過汽機）採用輕水。目前以加拿大 AECL 公司自行研發的肯杜型重水式反應爐（CANDU），如果從商用輕水式反應爐退出的用過核燃料，直接拿到肯杜型重水式反應爐中繼續使用，用過核燃料可以繼續使用，使得最終需要處置的高放射性廢棄物體積可以減少 70%[7]，目前的先導型研究是以壓水式反應爐的

用過核燃料，直接使用於肯杜型重水式反應爐當中，這樣的概念稱為 DUPIC。然而，由於肯杜型反應爐燃料元件的幾何形狀與輕水式反應爐不同，目前尚無法達成直接從輕水式反應爐一退出後，就可以立即置入肯杜型重水式反應爐中直接使用。

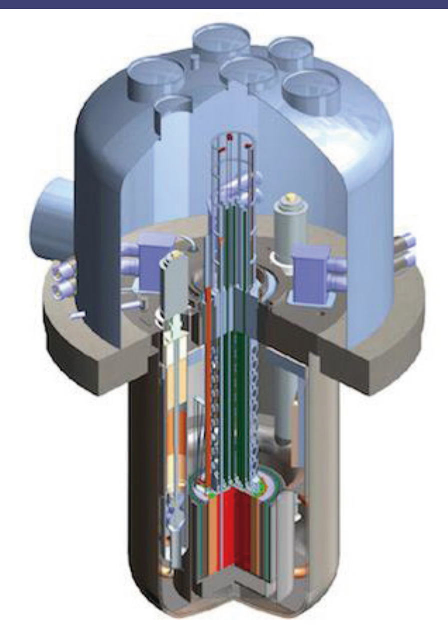
根據南韓原子能研究院自 1992 年迄今的先導型研究結果，DUPIC 仍需經加工程序才能利用，且用過的核燃料也需要冷卻一段時間才能進行加工，在 2000 年 4 月已於 HANARO 研究用反應爐測試小尺寸試驗，並於 2001 年 2 月完成全尺寸的 DUPIC 試驗，現於南韓的月城核電廠的重水式反應爐進行商用性的研究。

中國也於 2016 年 9 月，由中核集團、上海電氣與加拿大的埃森蘭萬靈工程公司組成研究團隊，進行肯杜型重水式反應爐的先進燃料研究，也是利用輕水式反應爐退出的核燃料，重置於肯杜型重水式反應爐中繼續使用，產生電力與動力。

核種異變

核種異變以消耗超鈾元素並進行發電，可解決用過核燃料的問題。目前此方法已經有初步的反應爐規劃，其中一型是由比爾．蓋茲投資設立的泰拉電力（TerraPower）公司所研發的行波式反應爐，現在原型機正規劃興建（圖 5），此方法的概念是將高放射性廢棄物中，半衰期長達數萬年的放射性物質，重新照射成為半衰期約數日至數年的較短半衰期放射性物質，徹底解決放射性物質的問題，且異變過程中也能產生能量發電，可謂一舉兩得[8]。

另一種核種異變的方式，則是利用加速器驅動高能質子，透過高能質子撞擊靶材產生高能中子，進而讓處於次臨界狀態的高放射性廢棄物核心（可維持自持性連鎖反應狀態）進行強迫性的核分裂，使高放射性廢棄物異變成

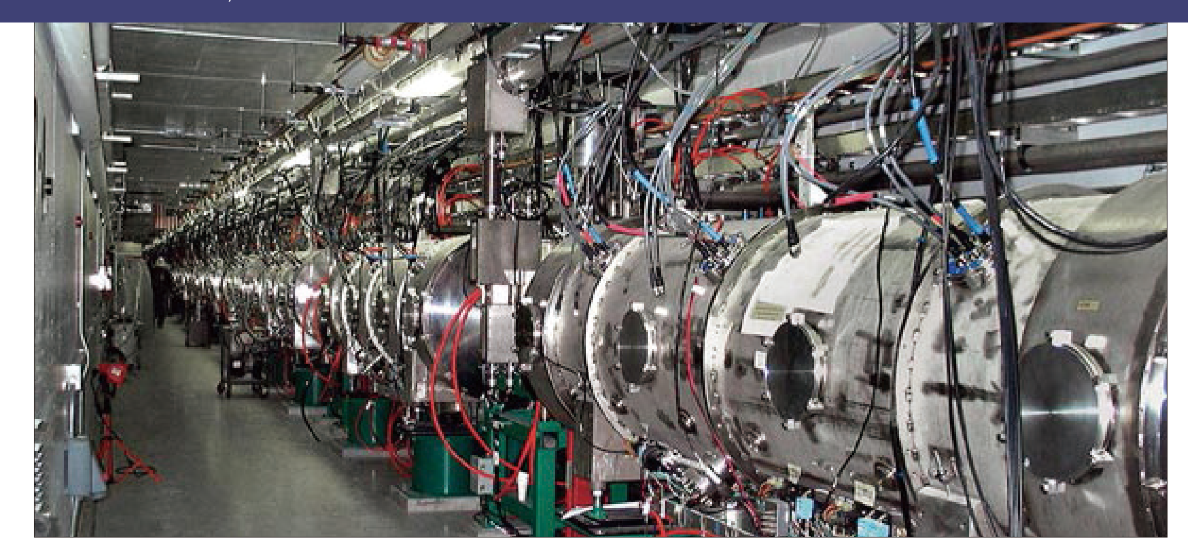


▲ 圖 5．比爾蓋茲投資成立的泰拉電力公司所研發的行波式反應爐（圖片來源：http://terrapower.com/pages/technology）

較短半衰期的放射性物質[9]，此種方式稱為加速器驅動次臨界反應爐。美國橡樹嶺國家實驗室自 2006 年使用線性加速器進行相關研究，並成立「蛻變中子源」小組[10]。比利時核能研究中心與歐盟合作的「多用途混合式高科技應用研究用反應爐」，以商業級反應爐的研究為目標，以鉛鉍合金作為冷卻劑，並使用 MOX 燃料為核心，可附帶進行特性研究與同位素製造，預期於 2025 年達成完全運轉[11]。中國亦於 2016 年由中國廣核集團與中國科學院合作，建造搭配 ADSR 釷融鹽反應爐[12]。

結語

高放射性廢棄物的處理，在技術上並非外界訛傳是個無解的難題，事實上人類已有相當能力可以貯存、回收、處置甚至是透過核種異變等方式，有效且安全地處理高放射性廢棄物。事實上，高放射性廢棄物並非萬年的垃圾廢料，因為這些放射性物質仍存有可觀的能量，部分先進國家已經將其視作資源而非垃圾。因此，我們應該要用正確的視野與思維，重新看待高放射性廢棄物的處理，才能為未來



▲ 圖 6．美國橡樹嶺國家實驗室加速器驅動次臨界反應爐實證爐研究（圖片來源 http://cerncourier.com/cws/article/cern/49061）

謀求最大的效益。

（本文本文作者為台灣電力公司核能工程師）

參考資料：

1.行政院原子能委員會，用過核子燃料濕式貯存和乾式貯存的特性。

2.U.S. Department of Energy. "Plutonium Recovery from Spent Fuel Reprocessing by Nuclear Fuel Services at West Valley, New York from 1966 to 1972", February 1996

3."Gerald Ford October 28 1976 Statement on Nuclear Policy", June 2012 http://www.presidency.ucsb.edu/ws/?pid=6561#axzz1zlLTm1BT

4.Ned Xoubi, "The Politics, Science, Environment, and common sense of Spent Nuclear Fuel Reprocessing 3 decades Later", Symposium on the Technology of Peaceful Nuclear Energy, Irbid, Jordan. 2008.

5.Kok, Kenneth D, "Nuclear Engineering Handbook. ", CRC Press. 2010

6.行政院原子能委員會，高放射性廢棄物最終處置的安全管理。

7.World Nuclear Association, "Recycled LWR uranium and used fuel in PHWRs ", http://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/fuel-recycling/processing-of-used-nuclear-fuel.aspx

8.TerraPower LLC (TP) "TWR Technology" http://terrapower.com/pages/technology

9.H. Nifeneckera, "Basics of accelerator driven subcritical reactors, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research" A 463 (2001) 428 - 467

10.S.D. Henderson, "Spallation Neutron Source Operation at 1 MW and Beyond," Oak Ridge National Laboratory, September 2010.

11.H. A. Abderrahim et al., "MYRRHA - A Multi-Purpose Fast Spectrum Research Reactor," Energy Conversion and Management 63, 4, (2012).

12.World Nuclear Association，Accelerator Driven Subcritical Reactor http://www.world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/accelerator-driven-nuclear-energy.aspx

日本核電廠**除役現況**

文‧編輯室

福島事故後日本幾乎關閉所有核電廠，日本原子力規制委員會（NRA）為了防止類似福島事故的意外再次發生，制定了更嚴格的核安標準，各電廠必須達到新的標準才可申請重啟，尤其是那些屆齡 40 年的電廠。但是，如果各電力公司在評估後覺得需要投入的資金太高、不符合經濟效益的情況下，就會選擇除役。本篇將報導日本 16 座核電機組目前除役的狀況，以東海、浜岡以及福島電廠為主要對象作較詳細說明。

一般來說，核電廠在結束運轉後需先將用過核燃料自反應爐中移至可暫存的場址或再處理廠〔註 1〕，然後進行廠內系統除污。而反應爐區域因為放射性等級較高，在除役期間必須事先進行 5-10 年的「安全貯存」期，讓該區域的放射性自行衰減，藉此讓執行除役作業的工作人員所接收到的放射性劑量，與運轉期間的運轉人員程度相同。雖然已將用過核燃料移出，但電廠設施內的配管、桶槽內仍有大量的放射性物質殘留，為使後期的廠房拆除工作順利進行，必須使用化學藥品來清理、去除配管及桶槽內的放射性物質，之後再進行反應爐建築以及其他廠房的拆除，以及放射性廢棄物的處置。

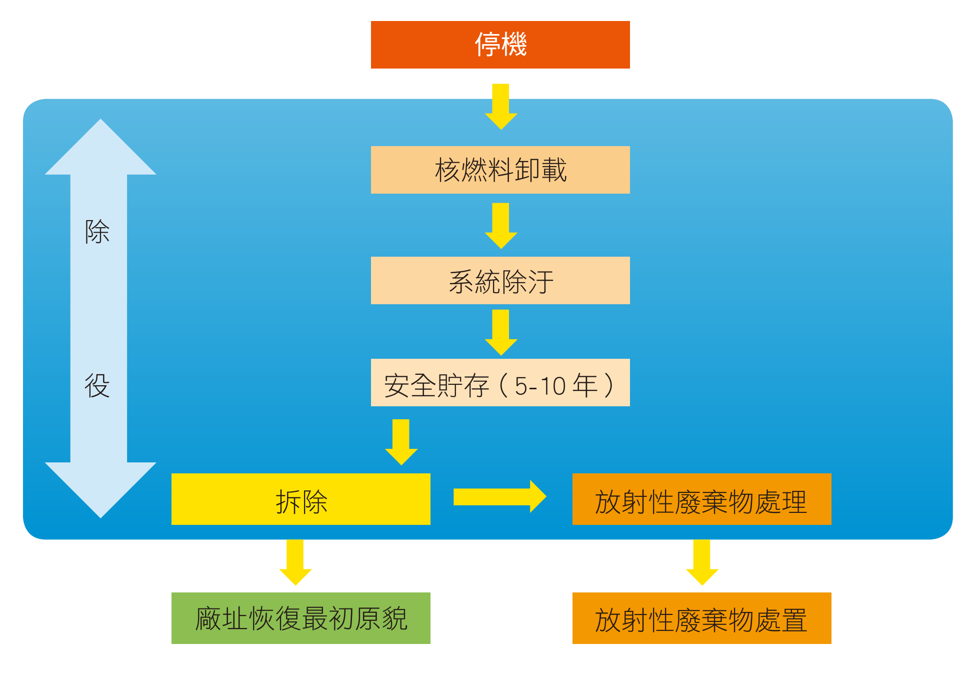
日本首座邁入除役階段的大型核子設施是由 JAERI（現為 JAEA）負責營運、管理的動力示範用反應爐（JPDR），該座反應爐同時也扮演著日本除役技術的試驗角色。JPDR 的除役計畫主要分為兩個階段，自 1981 年開始的第 1 階段為相關技術的研發，1986 年開始拆解、移除反應爐，整個除役計畫至 1996 年結束。自那時開始，日本至今已有 16 座反應爐開始除役計畫。

目前這些除役計畫中，屬東海 1 號機的進度最為超前。東海 1 號、普賢以及浜岡 1、2 號共 4 部反應爐均在「安全貯存」以及「外圍設備拆除」的階段，其中東海 1 號與普賢已開始拆除反應爐周圍的設備。而受 311 東日本大地震重創的福島第一核電廠 6 部機組，可以說是日本目前最難、最複雜的除役計畫。另外，也有電力公司在評估後覺得要使老舊機組達到新的核安標準耗資過甚，不符合經濟效益，因此已有 6 部屆齡 40 年的老舊機組（敦賀 1 號、美浜 1 與 2 號、島根 1 號、玄海 1 號、伊方 1 號）在最近這兩年內，相繼宣布將除役。

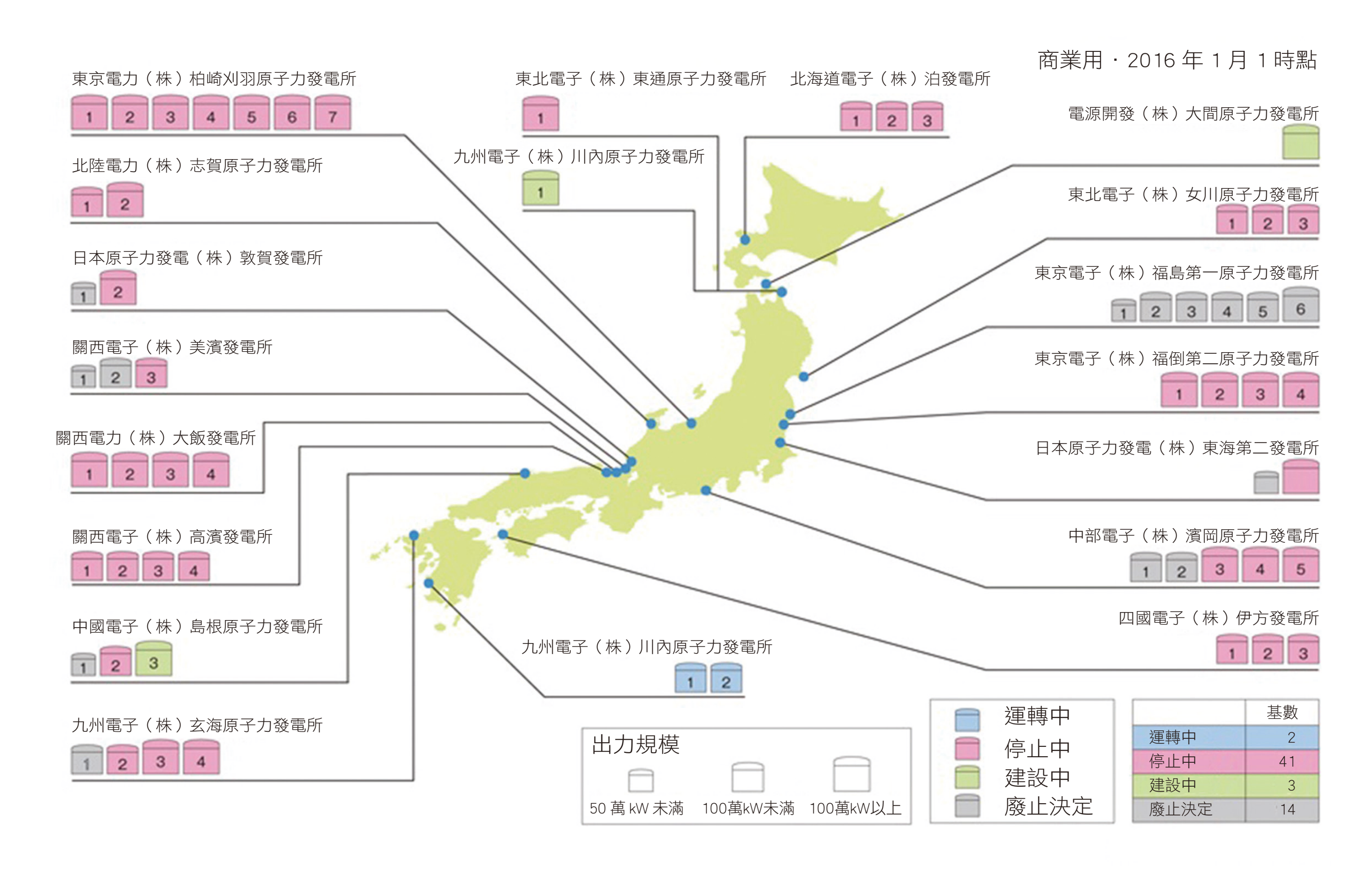
東海第一核電廠 1 號機

東海第一核電廠的單座機組為日本首座商用機組，種類為自英國引進、再由日本稍作改良的二氧化碳氣冷式反應爐，1966 年 7 月底開始商轉，於 1998 年 2 月底終止運轉，隨後宣布除役，共運轉了將近 32 年的時間。

東海除役計畫內容大多參考「JPDR 除役試驗計畫」所獲得的經驗。1 號機在 1998 年



▲核電機組除役過程



▲日本商用核電機組分布，其中灰色為確定除役的機組[註 2]（圖片來源：日本原子力 ・ 能源圖片集 2016）

日本除役中核電機組一覽					
核電機組	停機時間（月 / 西元年）	經營公司 / 機構	地點	目前狀態	預計完成除役時間
東海第一核電廠 1 號	03/1998	日本原子力發電公司	茨城縣	安全貯存、反應爐周邊設備拆除	2025
普賢	03/2003	日本原子力研究開發機構（JAEA）	福井縣	除污、反應爐周邊設備拆除	2033
浜岡 1 號	01/2009	中部電力公司	靜岡縣	安全貯存、準備開始拆除反應爐周邊設備	2036
浜岡 2 號					
福島第一核電廠 1 號	03/2011	東京電力公司	福島縣	廠址除污、反應爐探查、用過核燃料取出	不明確，預計時間約落在 2050 年
福島第一核電廠 2 號	03/2011				
福島第一核電廠 3 號	03/2011				
福島第一核電廠 4 號	11/2010				
福島第一核電廠 5 號	01/2011			關閉	
福島第一核電廠 6 號	08/2010				
敦賀 1 號	01/2011*	日本原子力發電公司	福井縣	已提出除役申請，NRA 審核中	2039
美浜 1 號	12/2011*	關西電力公司	福井縣	已提出除役申請，NRA 審核中	2045
美浜 2 號					
玄海 1 號	12/2011*	九州電力公司	佐賀縣	已提出除役申請，NRA 審核中	2043
島根 1 號	11/2010*	中國電力公司	島根縣	已提出除役申請，NRA 審核中	2046
伊方 1 號	09/2011**	四國電力公司	愛媛縣	關閉	未定

＊因執行全面安檢而停機，但之後都未重啟運轉，於 2015 年 3 月宣布除役。
** 因執行全面安檢而停機，但之後未重啟運轉，於 2016 年 3 月宣布除役。
資料來源：World Nuclear Association

停止運轉後即開始移出用過核燃料，於 2001 年 3 月底將所有用過核燃料取出，並於 6 月完成轉移，將用過核燃料運送至英國再處理。營運商日本原子力發電公司（JAPCO）也在同年 10 月向日本經濟產業省提出「反應爐解體申請」，並在 2006 年 3 月獲准，概要包括：

1.拆除東海第一核電廠內的反應爐、附屬設備以及建築；
2.反應爐區域將在經歷「安全貯存」後進行解體拆除；
3.反應爐區域外的附屬設備等，含安全貯存期間在內，依序拆除；
4.待各建築除去除汙染、進行解體拆除後，解除管制。

在反應爐區域進行「安全貯存」期間，於反應爐區域外進行的「外圍設備解體作業」，第 1 為附屬設備等的拆除，第 2 為熱交換器等的拆除，第 3 則是各建築內所有設備的拆除。東海 1 號機自 2001 年度起至今仍處於「安全貯存」階段，預計將從 2019 年開始拆除區域內的反應爐與其他設備；反應爐區域外目前正在進行外圍附屬設備的拆除作業，已移除渦輪機跟其他輔助性設施。

東海第一核電廠 1 號機組	
種類	石墨緩速二氧化碳氣冷式反應爐（GCR）
淨裝置容量	13.7 萬瓩
營運公司	日本原子力發電公司（JAPCO）
主要承包商	GEC/SC
商轉（月 / 西元年）	07/1966
停機（月 / 西元年）	03/1998
除役（月 / 西元年）	12/2001

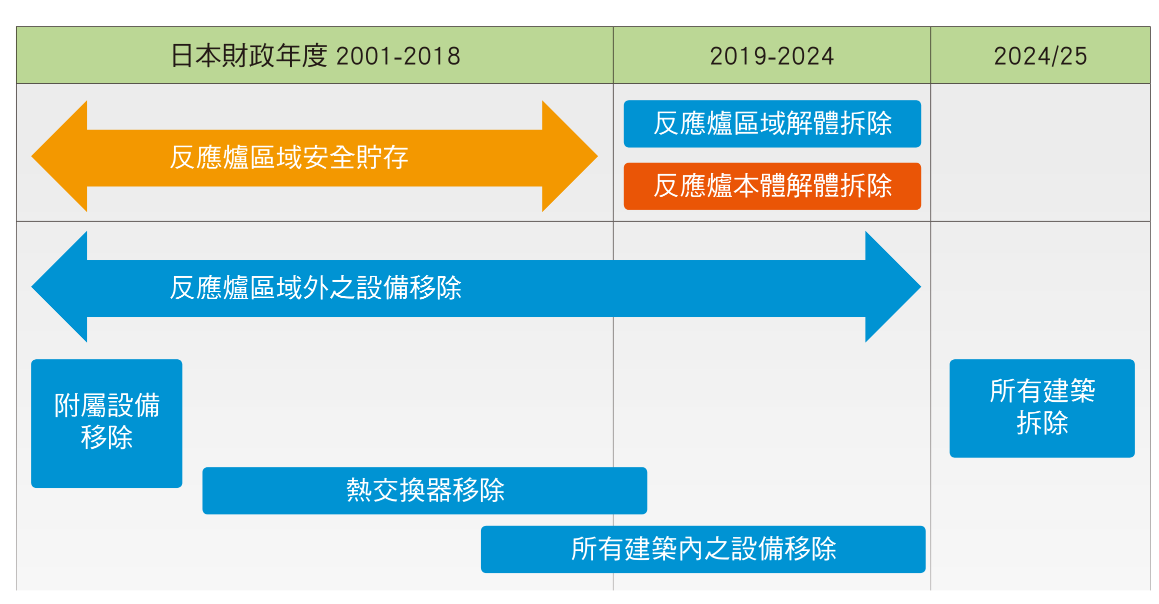
由於東海 1 號的設計與英、法國的氣冷式反應爐類型相似，英、法國在氣冷式反應爐除役方面獲得的技術，看似將替東海 1 號的除役計畫帶來很大的幫助。但有趣的是，日本在氣冷式反應爐除役的腳步卻比英國還要快速，JAPCO 預計於 2026 年完成該座機組的除役計畫，而英國首座氣冷式反應爐的除役規劃，則要到 2080 年才會完成。

另外，東海 1 號的除役計畫也帶動日本在「解除管制系統」方面的發展，目前日本的解除管制系統實施對象，主要是核電廠內受放射性物質污染的金屬類廢棄物。核電廠內所有廢棄物在解除管制前，都必須先將其分類與除污→擬定解除管制計畫（包含欲解除管制的放射性廢棄物與各種測量方法）→向 NRA 申請解除管制→測量殘留放射性物質（例如鈷 -60、氚 -3 等）的數值是否符合解除管制標準→向 NRA 確認→申請通過後即可將廢棄物移至非管制區域，或者重複使用。目前自東海 1 號內解除管制的一些長椅與擋板，已被 JAPCO 與 JAEA 回收，再次使用。

普賢核電廠

為增加日本鈾鈽混和氧化物燃料（MOX 燃料）以及再循環鈽的使用經驗，日本核燃料開發事業集團（現為 JAEA）於 1976 年開始進步型高溫反應爐的開發，即今日的普賢核電廠。這座全球首座爐心使用全 MOX 燃料的熱中子反應爐，於 1970 年底始建造，1979 年初開始運轉，至 2003 年 3 月底停機。

普賢的除役計畫分為 5 個階段，分別為工程準備（2003-2008）、用過核燃料轉移（2008-2018）、反應爐周邊設備解體拆除（2018-2023）、反應爐解體拆除（2023-2032），以及建築廠房解體拆除（2032-



▲東海 1 號機除役計畫流程圖，上方為反應爐區域，下方為非反應爐區域（資料來源：JAPCO 2015）

2033）。普賢於 2003 年關閉後即開始除役第 1 階段的工作，包含反應爐內用過核燃料以及重水的移出等。與日本其他除役計畫不同，普賢為日本唯一沒有訂定「反應爐安全貯存期」的除役計畫。

另外，因為普賢並非商業用反應爐，JAEA 並未在普賢的運轉期間內累積除役經費，因此普賢除役的資金來源單獨由日本文部科學省擔任。但是，普賢電廠的除役計畫小組與 NRA 均認為文部科學省提供的經費有限，要在這種情況下執行整個除役過程有其困難。而除了經費不足的問題之外，反應爐爐心的拆解也是除役小組目前面臨的困境之一，因為該種反應爐爐心的構造比一般的還要複雜，拆解所使用的工具也有其限制，因此除役小組目前仍在研發多種反應爐切割技術。

普賢核電廠	
種類	進步型高溫反應爐（ATR）
淨裝置容量	14.8 萬瓩
營運公司	JAEA
主要承包商	多個
商轉（月 / 西元年）	03/1979
停機（月 / 西元年）	03/2003
除役（月 / 西元年）	03/2003

浜岡核電廠 1-2 號機

位於日本中部靜岡縣的浜岡核電廠，自 1976 年首部機組開始運轉後至今已擁有 5 部機組，第 6 座於 2008 年開始建造。但因為浜岡電廠剛好建立在兩塊板塊交接處附近的「隱沒帶」上，附近海域又有 3 個地震帶，一直有學者指出浜岡電廠的地理位置，在未來 30 年內發生芮氏規模 8 地震的可能性高達 8 成，導致浜岡電廠的安全自開建以來一直受到質疑。

浜岡電廠 1、2 號機曾分別在 2001 及

浜岡核電廠 1、2 號機組		
機組	1 號	2 號
種類	沸水式反應爐（BWR）	
淨裝置容量	51.5 萬瓩	80.6 萬瓩
營運公司	中部電力公司（Chubu EP）	
主要承包商	Toshiba	Toshiba/ Hitachi
商轉（月 / 西元年）	03/1976	11/1978
停機（月 / 西元年）	11/2001	02/2004
除役（月 / 西元年）	01/2009	

2004 年為了加強核安措施而關閉，但在 2007 年發生「新潟縣中越地震」後必須做出的補強，因所需資金龐大，四國電力公司決定不重啟這兩部機組，並於 2009 年 1 月提出兩部機組以及其附屬設施為期 30 年的除役計畫。2011 年的福島事故後，包含停止運轉的 1-2 號、在檢修中的 3 號、運轉中的 4-5 號機，均停止運轉，進行設備改善與強化安全措施，6 號機的工程也完全停滯。

浜岡 1、2 號機的除役計畫分成 4 個階段，分別為工程準備、反應爐周邊設備解體拆除、反應爐解體拆除，以及建築廠房解體拆除時期。至今已完成第 1 階段的汙染狀況調查與設備除污，也在 2014 年 2 月開始，陸續將兩部機組的用過核燃料（1 號機 206 組、2 號機 1,164 組燃料束）移至 5 號機的用過核燃料池貯存。

在第 1 階段工程期間，除了用過核燃料的運出，工作人員也對再循環系統、反應爐冷卻淨化系統、餘熱移除系統，以及反應爐槽進行系統除污，防止放射性物質滲漏或外洩至其他設施。中部電力公司在去年 3 月完成核燃料移出作業後，即向日本 NRA 申請開始第 2 階段的工程，並於今年 2 月獲准，反應爐將進入安全貯存階段，同時開始拆除反應爐外圍設備。

整個除役過程中所產生的放射性廢棄物，

2009-2014	2015-2022	2023-2029	2030-2036
第一階段：工程準備	第二階段：反應爐周邊設備解體拆除	第三階段：反應爐本體解體拆除	第四階段：建築廠房解體拆除

用過核燃料運出

系統除汙

反應爐周邊設備解體拆除

反應爐解體拆除

建築廠房解體拆除

放射性廢棄物處理與處置

非反應爐區域的無放射性汙染建築與設備解體拆除

▲浜岡電廠 1、2 號機除役計畫流程圖（資料來源：JAPCO 2015）

待除役作業完成後，將依照固體廢棄物的分類與特性進行處置，並決定處置地點。不過，目前除役計畫中最大的問題是暫時處置場的地點仍不明，迫使中部電力公司只能暫時將用過核燃料暫存於電廠內，用過核燃料處置屬於除役計畫的一環，如果這個問題沒有解決，除役計畫就無法完成，這也是許多觀察者預計除役計畫將比原定時間耗時更久。中部電力公司原本預計將在浜岡 1、2 號機除役計畫完成後於該電廠新建核電機組，但目前仍未確定是否真的會實行。

2011 年的福島事故，導致日本幾乎所有的核電廠均停止運轉，執行安全檢查，必須通過更嚴格的審核與地方政府同意後才可重啟。2015 年 1 月，日本媒體報導在福井、島根、佐賀縣的敦賀 1 號、美浜 1-2 號、島根 1 號、玄海 1 號機組，經各縣政府與日本經濟產業省批准後，可永久關閉。這 5 座反應爐的淨裝置容量都介於 32 萬瓩至 53 萬瓩間，屬於規模較小型的反應爐，都將在 2015 年下半年屆齡 40 年，也都已獲准延役，但改良所需投入的資金並不好評論，因為他們不像關西電力公司的高浜電廠 1、2 號機，雖然也於 2015 年屆齡 40 年，但高浜 1、2 號已完成顯著的改良工程（提高電廠防震等級等），升級的成本將更容易回收[註3]。而在報導出來的兩個月後，經營這 5 座核電機組的電力公司共同於 2015 年 3 月宣布，該 5 部機組將除役，伊方電廠 1 號機也於今年 3 月宣布跟進。

敦賀核電廠 1 號機

與普賢相鄰的敦賀電廠，其 1 號機為日本最古老的沸水式反應爐。在 2011 年初因為執行年度安檢而停機，但在同年 3 月的福島事故後日本所有核電機組均必須重新通過審查才可重啟，日本原子力發電公司之後在 2015 年 3 月宣布該座機組將不重啟運轉，成為該公司第 2 個除役計畫。

敦賀核電廠 1 號機組	
種類	沸水式反應爐（BWR）
淨裝置容量	34.1 萬瓩
營運公司	日本原子力發電公司（JAPCO）
主要承包商	GE
商轉（月 / 西元年）	03/1970
停機（月 / 西元年）	01/2011
除役（月 / 西元年）	未知，NRA 審核中

敦賀 1 號目前預計的除役計畫分成 3 個階段：工程準備（2016-2024，工作內容包含了燃料的卸載、反應爐進入安全貯存期等）、反應爐解體拆除（2025-2032），以及建築廠房解體拆除（2033-2039）。至於反應爐周邊設備解體拆除、除污、放射性廢棄物處置等工作，在整個除役期間內均會執行。

美浜核電廠 1-2 號機

美浜 1、2 號機為較小型的壓水式反應爐，為關西電力公司首個除役計畫，也是日本首批邁入除役的壓水式反應爐（另一座為玄海 1 號）。該 2 座機組於福島事故後停機執行安全審查，但也於 2015 年 3 月宣布不重啟，關西電力公司在今年 2 月向 NRA 提交除役計畫，目前仍在審核當中。

美浜 2 座機組的除役計畫分為 4 個階段：工程準備（2016-2021，工作內容包含系統除污、放射性程度測量、核燃料卸載、開始輔助設施的拆除、反應爐進入安全貯存期等）、反應爐周邊設備解體拆除（2022-2035）、反應

美浜核電廠 1、2 號機組		
機組	1 號	2 號
種類	壓水式反應爐（PWR）	
淨裝置容量	32 萬瓩	47 萬瓩
營運公司	關西電力公司（Kansai EP）	
主要承包商	WH/MAPI	MAPI
商轉（月 / 西元年）	11/1970	07/1972
停機（月 / 西元年）	12/2011	
除役（月 / 西元年）	未知，NRA 審核中	

爐解體拆除（2036-2041），以及建築廠房解體拆除（2042-2045）。

與日本大部分除役計畫比較不同的地方，美浜除役計畫中規劃的「核燃料卸載」與「反應爐安全貯存期」時間長達 20 年，橫跨整個除役計畫的第 1、2 階段。

島根核電廠 1 號機

島根 1 號機是日本首座「日本設計、日本製造」的反應爐，與敦賀 1 號機相同，2010 年因執行安檢而停機，之後便一直沒有提出重啟的計畫，中國電力公司也於 2015 年 3 月宣布該機組將除役，於今年 4 月向 NRA 提出申請。

島根 1 號除役計畫也是分成 4 個階段，目前得知的大綱為：工程準備（6 年，工作內容包含核燃料卸載、放射性汙染除污考察等）、反應爐周邊設備解體拆除（8 年）、反應爐解體拆除（8 年），以及建築廠房解體拆除（8 年），預計於 2046 上半年完成整個除役計畫，但第 2-4 階段的工作時程到時仍需視第 1 階段的除污結果而定。

玄海核電廠 1 號機

島根核電廠 1 號機組	
種類	沸水式反應爐（BWR）
淨裝置容量	43.9 萬瓩
營運公司	中國電力公司 （Chugoku EP）
主要承包商	Hitachi
商轉（月 / 西元年）	03/1974
停機（月 / 西元年）	11/2010
除役（月 / 西元年）	未知，NRA 審核中

玄海核電廠 1 號機組	
種類	壓水式反應爐（PWR）
淨裝置容量	52.9 萬瓩
營運公司	九州電力公司 （Kyushu EP）
主要承包商	MHI
商轉（月 / 西元年）	10/1975
停機（月 / 西元年）	12/2011
除役（月 / 西元年）	未知，NRA 審核中

玄海 1 號機從 1975 年即投入商轉，為九州電力公司首部除役的機組，也是日本首座邁入除役的壓水式反應爐。九州電力公司在 2015 年底向 NRA 提交其除役計畫，4 個階段分別為：工程準備（2016-2021，工作內容包含核燃料卸載、無輻射汙染設施的拆除、反應爐進入安全貯存期等）、反應爐周邊設備解體拆除（2022-2029）、反應爐爐心解體拆除（2030-2036），以及反應爐與建築廠房解體拆除（2037-2043）。除污與放射性廢棄物處理處置等工作，在整個除役期間內均會執行。

與美浜 2 座除役的機組相似，玄海 1 號的核燃料卸載與反應爐安全貯存也須至第 2 階段後期才可完成。

伊方核電廠 1 號機

四國電力公司於今年 3 月宣布，伊方電廠 1 號機要達到 NRA 在福島事故後對屆齡 40 年的核電機組所制定的重啟標準，需要投入的資金高達 1 千 7 百億日圓（約 505 億新台幣），因此將於 5 月關閉伊方電廠 1 號機組，進行除役。

伊方核電廠 1 號機組	
種類	壓水式反應爐（PWR）
淨裝置容量	53.8 萬瓩
營運公司	四國電力公司（Shikoku EP）
主要承包商	MHI
商轉（月 / 西元年）	09/1977
停機（月 / 西元年）	09/2011
除役（月 / 西元年）	未知

福島第一核電廠

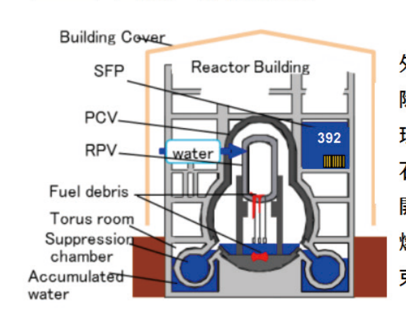
上述所有核電機組均可以用常規的方式來進行除役，但福島第一核電廠 6 部機組卻是一個不同的案例。位於日本東北部沿岸、由東京電力公司（TEPCO）所有的福島第一核電廠，在 2011 年 3 月 11 號的東日本大地震中，受到 15 米高的海嘯重創，當時該電廠所備有的電力全數流失，導致冷卻水循環系統無法正常運轉。雖然 6 部機組均在最初地震發生時即自動停機（4-6 號機當時原就處於停止運轉狀態），但反應爐爐心內的核燃料仍需要冷卻系統正常運作，來防止反應爐達到無法控制的臨界狀態。在冷卻系統無法運轉的情況下，福島第一核電廠的 6 部機組中，有 3 部出現爐心熔毀的情形，亦有 3 部反應爐因為氫爆而損毀嚴重，導致放射性物質釋出。雖然釋出的放射性物質以及反應爐受創程度均比發生於 1986 年的「車諾比事故」還要低，但 4 部機組同時發生嚴重事故的規模卻是史無前例。

福島事故發生後，日本政府下令擬定福島第一核電廠 1-4 號機組的除役計畫，該計畫於2011年12月底公布，預計將耗時30-40年，計畫分為 3 個階段：用過核燃料儲存池內的用過核燃料取出、移除反應爐心內部的核燃料殘骸，以及除污與設備建築拆除。然而，因為國內反核聲浪過大，日本首相安倍晉三於 2013 年底決定將只受到輕微損傷的 5、6 號機組也納入該除役計畫，東電也於隔年 1 月宣布此事。經多次修訂後，福島第一核電廠 6 座機組的除役計畫於 2015 年 4 月底正式公布。

1-4 號機

福島第一核電廠 1-3 號機組為 6 部機組中受創最嚴重的 3 部，在意外發生時均在運轉當中，雖然在地震發生後立即停止運轉，但伴隨而來的海嘯將電廠內所有電力來源切斷，

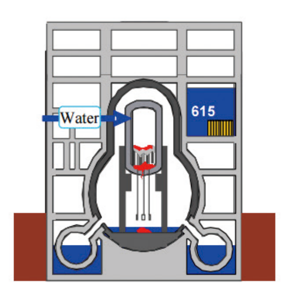
Unit 1　氫爆，爐心熔毀



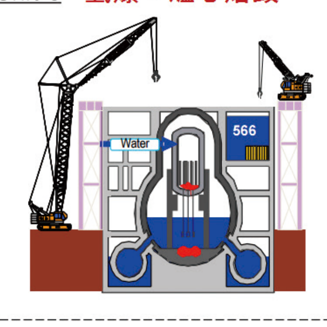
外罩牆板工程拆除中，將開始清理廠房上方的碎石，預計2020年開始移除用過核燃料池內共392束的用過核燃料

Unit 2　爐心熔毀

已完成廠房左方破洞的修補，與1號機相同，預計於2020年開始移除池內共615束的用過核燃料

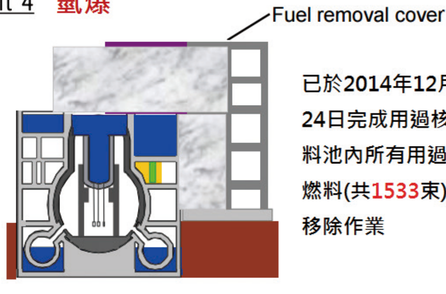


Unit 3　氫爆，爐心熔毀



目前正在清理其中瓦礫，以利之後用過核燃料的移除(共566束)，預計2017年開始移除作業

Unit 4　氫爆



已於2014年12月24日完成用過核燃料池內所有用過核燃料(共1533束)的移除作業

▲福島第一核電廠 1-4 號機組現況，爐心中紅色處為熔毀核燃料的預估位置

冷卻系統也因此無法運轉，導致反應爐內部的溫度以及壓力達到危險等級，導致爐心熔毀造成反應爐槽底部穿透，先後於 1、3 號機發生的氫爆也造成這兩座反應爐建築受到重創。建築物受損以及爆炸所產生的碎片、熔毀的燃料殘骸掉落至壓力槽底部、安裝在廠內用來移動核燃料的設備受損，甚至無法使用、前往爐心的路徑被堵住、放射性汙水流出，以及其他衍生的問題等，都反映了這 3 部機組除役的困難度。

目前，1 號機已完成反應爐建築外罩牆板的工程（用來抑制因氫爆飛散而出的放射性粉塵），並於最近開始牆板的拆除作業，將開始清理廠房上方的大型瓦礫；2 號機則完成廠房破洞處修補；3 號機用過核燃料池內的大型建築物碎片已於 2015 年 8 月移除，預計於 2017 年開始移除廠內用過核燃料（1、2 號機則預計於 2020 年開始），現已開始上層遮蔽物、燃料處理機器安裝的準備工作。

至於 4 號機在意外發生前就已處於停機狀態，因此爐心內並沒有裝載核燃料，但因為與 3 號機共用管線，事故發生時氫氣自 3 號機流竄過來，導致 4 號機也一同發生氫爆。由於該座反應爐內用過核燃料池存放的燃料束數量最多（約 1,500 束），東電決定先移除該處的用過核燃料，並於 2014 年 12 月完成。

除了 4 座反應爐建築的整修與拆除，東電目前在福島第一核電廠已陸續完成：冷卻循環系統恢復、導引海水流向圍籬（silt fence）安裝、海床鋪面（防止河床上的淤泥流動散播放射性廢棄物）、儲水槽內高放射性汙水再處理、沿岸 800 公尺不透水牆安裝（防止地下水流入海洋）、多棟建築重建等工程；電廠陸地鋪面（預防放射性汙水滲入地底，有效降低放射性汙染）則接近完工；設立於反應爐建築周圍的凍土壁也於今年 3 月開始運轉。

福島第一核電廠 1-6 號機組						
機組	1	2	3	4	5	6
種類	沸水式反應爐（BWR）					
淨裝置容量	43.9 萬瓩	76 萬瓩	76 萬瓩	76 萬瓩	76 萬瓩	106.7 萬瓩
營運公司	東京電力公司（TEPCO）					
主要承包商	GE	GE/Toshiba	Toshiba	Hitachi	Toshiba	GE/Toshiba
商轉（月 / 西元年）	03/1971	07/1974	03/1976	10/1978	04/1978	10/1979
停機（月 / 西元年）	03/2011			11/2010	01/2011	08/2010
福島事故損毀程度	爐心熔毀、氫爆	爐心熔毀	爐心熔毀、氫爆	氫爆	輕微損傷	輕微損傷

電廠內受氫爆與海嘯影響最甚的沿岸區域，當時各處可見碎石散落，目前所有含有高放射性汙染的碎石均已移除並集中貯存，該區域的放射性汙染程度也因此降低。

電廠的工作人員也從需要配戴全罩式面罩與防護衣進入電廠範圍，至今僅需在進入反應爐、渦輪機廠房等放射性劑量較高的建築（面積僅占整座電廠約 1/6）前換上，在電廠其他室外區域只需穿戴一般工作服與口罩執行作業即可。目前在該電廠內新建的辦公大樓內，就有超過 1,000 名專業技術人員從事除役相關作業。而在福島事故後電廠工作人員原本只能食用存於電廠內的存糧，至今也可在新建的休憩中心（rest house）中享用現煮熱食等，都是事故後至今的改變。但 1-3 號機組核燃料熔毀的位置仍無法確認，導致核燃料殘渣的回收仍進展緩慢。

5-6 號機

福島第一核電廠 5、6 號機組因為建造時間較晚，安全系統的等級相對也較高。這兩部機組與 4 號機相同，於意外發生時也處於歲修階段，反應爐並沒有在運轉，但為了準備重啟執行測試，核燃料已上載至爐心內。然而幸運的是，在 1-4 號機處於電力流失的狀態下，該處一座緊急備用發電機維持正常運轉，替這兩座機組的冷卻系統提供穩定電源，以致沒有失控的情形發生。而這兩座機組也因為受損程度非常輕微，可用常規的方始來執行除役。

結語

核電廠除役計畫以拆除反應爐本體、附屬設備與建築物，並恢復土地原貌為原則，是相當複雜、冗長的系統工程，其難度與複雜性可不輸原電廠的興建，需要考量到的因素涉及政策、安全、技術、環保、經濟以及公眾共識等層面，加上各因素間均相互關聯，必須事先做好完整、妥善的規劃。而根據日本核電廠除役相關法規規定，核電廠欲「停止運轉」、「申請除役」、「移出用過核燃料」、「解體、拆

除反應爐」以及「除役完竣」等，都需向 NRA 提出申請，擬定相關計畫，在獲得許可後才可進行，可見日本抱持著相當謹慎嚴格的態度在面對。

註：

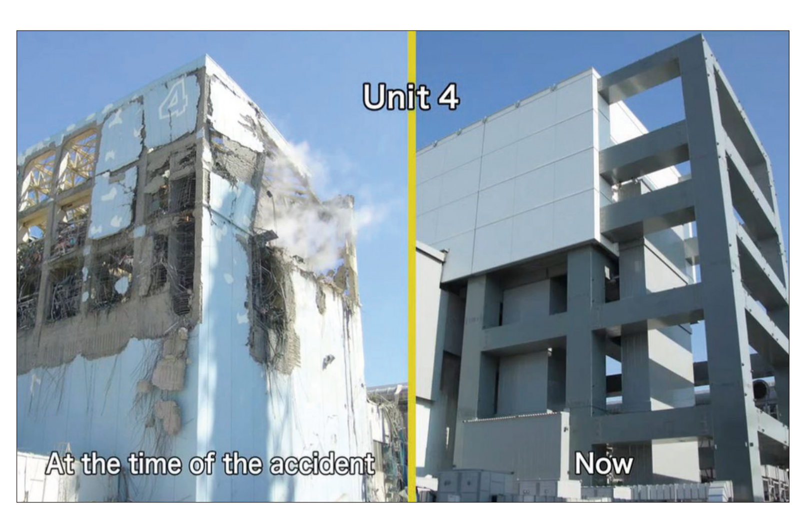
1.因六所村再處理廠尚未正式啟用，目前日本進行中的再處理作業是送至英、法國進行。

2.該圖為截至2016年1月1日，當時伊方1號尚未宣布除役，普賢非商用反應爐，故不列入。

3.高浜電廠1、2號機組於今年6月底正式獲准延役20年。



▲福島 3 號機於事故發生時（左）與今日（右，東電攝於 2016 年 9 月）



▲福島 4 號機於事故發生時（左）與今日（右，東電攝於 2016 年 9 月）

參考資料：

1.Marc Schmittem. "Nuclear Decommissioning in Japan - Opportunities for European Countries." EU-Japan Centre for Industrial Cooperation. March 2016. Web.

2. "Japan's Nuclear Fuel Cycle." World Nuclear Association. Updated May 2016. Web.

3. "Nuclear Power in Japan." World Nuclear Association. Updated August 2016. Web.

4. "Fukushima Accident." World Nuclear Association. Updated July 2016. Web.

5. "2016.9.1. The current situation at Fukushima Daiichi NPS - From 3.11 toward the future." TEPCO. September 2016. Web.

龍門核電廠重要管制措施報導

文‧編輯室

7 月 25 日原能會函覆台電公司龍門計畫設備驗證方案 (EQ Program) 之意見，要求台電公司在原驗證方案規定下，更正替換原引用 S&W 公司的內容後重提驗證方案。另有部分 EQDP 文件設備廠家未辦理簽證，亦要求台電公司補正。

7 月 26 日原能會函覆台電公司有關龍門電廠營運程序書「1103.05 核能同級品零組件檢證」，要求依原能會「核能同級品零組件檢證作業及檢證機構認可辦法」規定辦理相關作業，以符合法規要求。

7 月 28 日原能會函送台電公司「104 年度龍門 (核四) 電廠封存執行成效報告」審查意見，除針對前述報告第參、六、(一) 節、第肆、三、(五) 節及第肆、三、(六) 節等部分內容，求台電公司補充或澄清外，亦要求台電公司將 2 號機廠房環境監測方案執行情形等 6 個項目，納入「105 年度龍門電廠封存執行成效報告」。

9 月 8 日第 7 屆核能四廠安全監督委員會第 8 次會議假龍門電廠召開，會議中委員除聽取原能會及台電公司就最近一季的封存管制及設備維護現況提出簡報與進行討論外，並赴 2 號機現場巡視。

9 月 26 日至 30 日原能會赴龍門電廠執行龍門計畫第 64 次定期視察計畫，就 1 號機計畫性系統維修作業，以及 2 號機封存期間儀電設備維護管制與監測計畫執行現況等進行視察。





▲ 105年9月8日核能四廠安全監督委員會第8次會議情形

參考資料：

http://www.aec.gov.tw/controlreport/build_m_control.html

悲情蘭嶼：為賦新詞強說愁

文・林基興



▲蘭嶼貯存場

台東蘭嶼（意為蘭花之島），位處台灣東南外海，居民多為原住民達悟族，並在春夏季節出海捕飛魚，稱為「飛魚季」，有「飛魚的故鄉」之稱。

1974 年，行政院原子能委員會（原能會）展開「蘭嶼計畫」，要在蘭嶼龍門地區設立放射性廢棄物貯存場。1981 年，蘭嶼貯存場開始運作。

「蓋工廠」：謠言滿天飛

2016 年 8 月 1 日，媒體報導提到，當年政府在雅美族人不知情的情況下，將放射性廢棄物存放在蘭嶼，「蘭嶼的族人承受放射性廢棄物的傷害」。當地許多意見領袖表示，政府當年騙說要蓋鳳梨工廠，蘭嶼人非常擔心滅島。

其實，至少 4 項證據顯示，當時資訊公開，確定說清楚要蓋放射性廢棄物貯存場：一是當時《立法院公報》（第 69 卷第 73 期委員會紀錄）：「處理與儲存此類放射性待處理物料…以台東縣蘭嶼島龍門地區為陸貯場所…，蘭嶼計畫專案…由榮民工程處分別施工中。」二是榮民工程處工程告示牌：「蘭嶼計畫碼頭及防波堤工程告示牌，主辦單位：行政院原子能委員會」。三是《蘭嶼雙月刊》（民國 74 年 11 月 10 日）標題：「絕不犧牲少數人！貯存場設置考慮完善，原能會放射性待處理物管處處長強調安全無虞」，「安排全鄉…到貯存場舉辦座談會」。四為《聯合報》民國 69 年 5 月 4 日標題：「放射性待處理物料，將送蘭嶼貯存」；民國 71 年 5 月 4 日標題：「廢料儲存蘭嶼…核能專家表示，安全問題，大可放心」。

另外，原能會公告：貯存場建場之初，原能會對外行文，從未使用「罐頭工廠」乙詞。向行政院陳報、向台灣省政府與台東縣政府協調規劃貯存場時，均明確指出為闢建「蘭

嶼國家放射性待處理物料貯存場」，此點可由當時的「施工規劃報告名稱」及「施工地點豎立的大型看板」作為佐證。外傳原能會當時假借「罐頭工廠」之名，蓄意欺騙蘭嶼民眾，實為以訛傳訛。

「在蘭嶼蓋工廠」是謠言，但已謊言百遍成事實。多年來，許多民眾一直痛責政府欺騙蘭嶼要蓋工廠，大眾因而更同情蘭嶼並協助抗爭。蘭嶼年輕一代質疑，「當時有無用族語將事實真相告知我的族人？」因上一輩說：「詢問該工地的用途，得到的答案是魚罐頭工廠。」則可能因達悟族語中並無「放射性廢棄物桶」的詞彙，翻譯者形容桶子時，說像是「罐頭」一樣，結果，反而引起達悟族人誤解。

謠言傷國害民 不是輻射

蘭嶼設有 54 個輻射偵測站，原能會定期採取飲用水、地下水、農漁產物、土壤、海水、岸沙等，每年取樣超過 500 餘個樣品。歷年來偵測的結果均在自然環境背景輻射變動範圍內，環境背景值為 0.2 微西弗 / 小時以下，蘭嶼背景值介於 0.027 ～ 0.041 微西弗 / 小時。

低放射性廢棄物的劑量本已甚低，固化封存與隔離後，當然無妨。其實，設場前與後，均實測輻射劑量，並無差別。動輒宣稱蘭嶼同胞因核廢輻射而傷亡，可拿得出證據？例如，說某當地人罹癌，則可想想我國國民罹癌率每百人約有 25 人（1/4），因此，聽聞某類人罹癌的機率高，不能隨便怪罪。

2012 年，兩名外行的日本人中生勝美與加藤洋，到蘭嶼偵測輻射，宣稱輻射超過背景值千倍，引發居民恐慌而不讓孩子外出上學。原能會即前往偵測，卻無輻射異常。兩個月後，此兩日人與我國核能專家複測，方知日方儀器其實受到干擾而誤測。但日人宣稱其儀器比較新而正確，又說為什麼日人的數據蘭嶼人就相信，原能會的數據卻否，「難道蘭嶼是日本管轄的嗎？」民眾怒述，該貯存場已 30 年，危害民眾，原能會每次說安全都是在欺騙蘭嶼人。2013 年，曾任日本保健物理協會會長的石黑秀治博士等 3 位日本輻射專家，與清華大學朱鐵吉教授等人同往偵測，輻射劑量每小時 0.03 微西弗，低於自然背景值，確認無異常。

2016 年 3 月 22 日，旅日作家 L 女士投書說：「日本輻射專家學者團隊，也在蘭嶼各處找到許多超標驚人的輻射熱點，乃至類似輻射屋之處，但原能會根本否認日本專家團隊的調查結果，自己也不肯做調查。」這位作家所言已嚴重與事實不符。

貯存場共計存放低放射性固化廢棄物 97,672 桶，水泥固化形成第一道障壁，以鋼桶盛裝是第二道障壁，混凝土壕溝為第三道障壁，啟用 30 餘年來，600 桶放射性廢棄物桶出現鏽蝕情形，但混凝土壕溝可有效隔離放射性物質，2011 年 11 月完成全數檢整重裝回貯作業。歷年環境偵測可確認並無輻射外洩，但此鏽蝕事件已重傷國家與台電形象。許多民眾宣稱輻射外洩傷人，並非事實。為何居民將放射性廢棄物視為「惡靈」？只因有心人士危言聳聽、造謠：

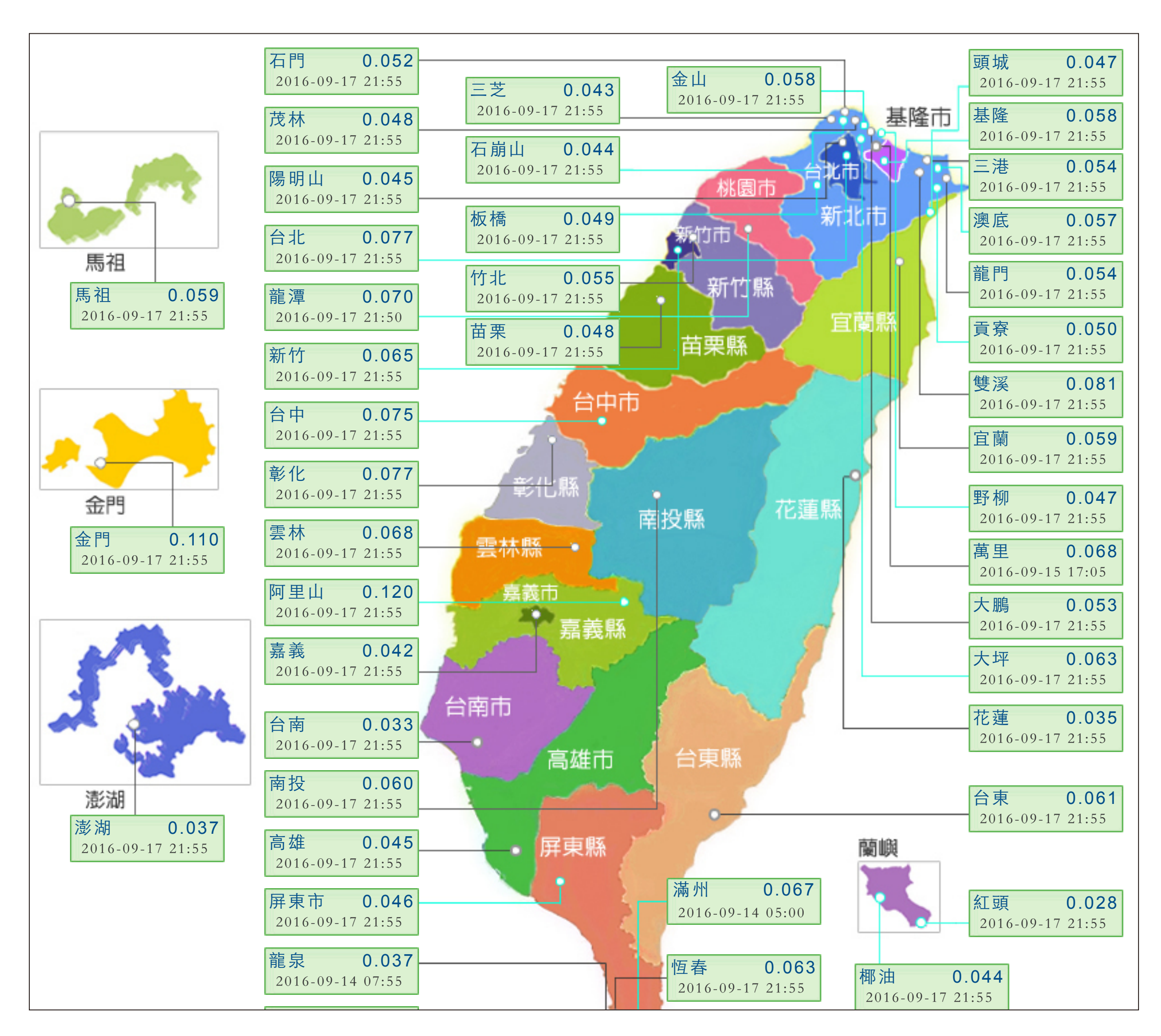


▲ 蘭嶼地區環境輻射偵測站

「蘭嶼連 1 度核電都沒用到，怎麼忍心將放射性廢棄物放在那裡，讓小孩子致癌？」──L 女士，旅日作家，2016 年。

2014 年，某報出書《明天的電，核去核從》提到，「台北人享受了電力的方便，卻總是較少承擔使用能源背後的代價」。在「蘭嶼美麗島，接收核廢十四年」文中，有以「科技殖民」形容漢人在蘭嶼傾倒科技的垃圾，注入蘭嶼悲劇的開端。何其不幸的族群對立觀點！讓漢人與達悟混血孩子情何以堪？政府設立的醫療設施、各級學校機構呢？也是科技殖民？

欲加之罪何患無辭？其實，幾乎任何議題均可挑起族群對立，例如，2014 年，蘭嶼要不要有便利店 7-Eleven，也曾引起論戰。名作家劉克襄說：「希望小 7 別繼放射性廢棄物後又成為漢人帶給蘭嶼的另一個惡靈。」蘭嶼鄉長說；「蘭嶼想要的東西，台灣為什麼要反對？」蘭嶼人抱怨：「為什麼你們可以用 ibon 買票，網購店配等，而蘭嶼人不行？同為國家公民，來看我們划拼板舟、穿丁字褲，卻不讓我們發



▲ 蘭嶼地區環境輻射劑量數值 0.044 微西弗 / 小時，比台灣本島許多地區還低

展。」社會發展到此地步，實在慘不忍睹。

也許最傳神的是，2002 年，呂秀蓮副總統對媒體說:「蘭嶼放射性廢棄物場沒有問題，是有些政客每年就要去挑它一下。」

任一選址均受民粹抗爭

一個獨立國家需要垃圾處理廠、墳墓、監獄、軍事設施、煉油廠、機場等，不是設在我家旁就是在你家旁。蘭嶼核廢場是 1980 年代，歷經 2 年多，就全國廢棄坑道、高山等地區評估，決定先採取離島暫存。蘭嶼龍門地區因地形封閉、5 公里內無人居住、運輸安全可靠等特點，而獲專家評選通過。今人或可不同意，但當年時空環境決策如此；就如決選基隆港址。

說蘭嶼人沒用核電，就不可當核廢貯存處？就如說桃園人沒搭過飛機，桃園就不可設機場？或說某地沒生產核醫藥物，就不可用核醫藥物？蘭嶼不是國家的一部分，而可自選要什麼、不要什麼？則每個縣市鄉村里均只要食物，不要垃圾場？只要安全，不要軍警設施？為何今人如此「自主」（或說「自私」）？

有民眾說：「放射性廢棄物暫時貯存於蘭嶼，是歧視少數民族的不義行為。」事實上，無論放在哪裡，反對者總可找出反對的理由，立即號召群眾前往反對。同樣，反變電所與基地台者也使用類似言辭。然後反對者樂得宣稱，「無能」的政府就是找不到地方。因為反對者將低放射性廢棄物描述成「大量輻射、如同癌症與愛滋病般危險」，難怪民眾被嚇得半死，因此，任何地區的民眾無不拿此擋箭牌拒絕放射性廢棄物。若從蘭嶼搬出，則沒人願意接納，可說作法自斃。使得低放射性廢棄物貯存場選址現今還是無解，仍留在蘭嶼。

抗議者質疑：「全台灣什麼地方不選，偏選蘭嶼我的家鄉？」因此，不論放哪裡，每人均可這樣問。說「把自己生產的垃圾丟到他人家裡」者，可知自家垃圾流落到哪個鄉鎮垃圾掩埋場或焚化場？每人自行處理垃圾，是全社會最佳作法嗎？那麼，質疑者使用的 X 光等核醫藥廢棄物，為何由醫院代為處理？說些冠冕堂皇、大義凜然的話很容易，只是太虛偽。這些低放射性廢棄物形同石頭，不會污染環境，其實不該當成垃圾，又有台電專人看管，只是找個地方放置;正是「一石激起千層浪」。

有立法委員表示，應停建核四，以避免放射性廢棄物。但她不知，醫療與學術應用等也一直產生放射性廢棄物。為何只有台電而從無醫師病患或研究者出面扛責？立法委員享用過諸如 X 光等核醫藥物，為何卻不自行處理掉所產生的放射性廢棄物？

立法委員主張，選址應經地方同意；但哪個地方沒被誤導而會同意？例如，1998 年，台電要將烏坵的小坵嶼作為放射性廢棄物的最終處置場，結果部分烏坵居民抗議，外人與媒體紛紛聲援，台電於 2002 年放棄。偏遠烏坵，是離島中的離島，又幾無人煙，仍受人激烈抗爭到放棄，可能會有任何地方同意存放嗎？

青鳥殷勤為探看

蘭嶼何辜，因謠言而挑起民眾恐慌，再因意識型態而產生族群對立。

英國文豪莎士比亞的名劇《羅密歐與茱麗葉》，描述兩位青年男女相戀，卻因兩家族的仇恨而迂迴走避；最後，賠上戀人的冤枉死亡，大家領悟到自己的愚昧與荒唐，兩家族回到了應有的秩序。

我們可由莎翁悲劇學到什麼嗎？

（本文作者為大學教授，曾受世界衛生組織一主席推薦至《自然》期刊主辦之「挺身維護科學獎」）

給核能事業部同仁的一封信

各位核能伙伴：

520 新政府上任，能源政策有了新的方向，風力、光電大步邁進，核能則一如預期，「非核家園」成為不可逆的事實，只是核電的式微來的又快又急，超乎你我的想像，令人深感無奈但也不得不面對。

核一廠 1 號機一年半來遲遲無法啟動，核二廠 2 號機大修後的電氣事故，演變成民粹議題；如今除非缺電，否則兩部機組難以重啟，似成定局。或許我們不忍於公司每日供電走鋼索，高價購電或獎勵節電，全為避免缺電危機；或許我們痛心於一天上億元的替代燃料成本，而充滿疑惑：為何兩部核能機組「藏」電不用？但我要鼓勵大家不妨轉個彎想：民意如此，順勢而為或許會有另一番景象！

60 年代，政府基於能源安全考量，在保有適當「準自產」能源的決策下，陸續建造 3 座核電廠、6 部機組，讓 70 年代的核電占比，一度高達 50%，穩定了 70 到 90 年代的電價，渡過能源危機。同仁中，不乏像我一樣，驕傲地投身建廠工作，並接續之後的風光營運，以護衛電廠的安全運轉為己任；用滿滿的信心，展現國際水準的營運績效，無怨無悔的想為社會貢獻一己之力。然而福島事件的洪流，激起民意巨浪，一波波反核聲音，眼看就要淹沒大家的熱忱，怎不令人憂心？

今日寫這封信的目的，是要鼓勵伙伴們大家一定要挺住，資深同仁莫忘初衷，年輕同仁勿棄熱情，順應情勢，堅守崗位，持續為核能歷史刻劃光榮的一頁，直到完成除役任務。

核電廠的安全與否，我們最了解，外界或許視營運 30 餘年的電廠為老舊，但內行人來看卻誇讚我們維持得好；歐美電廠每每延役到 50、60 年，我們卻連 40 年如期停

役都難求。大家心中或有不平，但千萬不要放棄一貫的信念，那就是「守護全民的安全」。電廠的健康我們最在意，藉由運轉維護管理，維持電廠的青壯活力，設備應修就修，該換就換。以核二廠發電機為例，因為仍可能運轉，計畫執行的「重新繞線」就非做不可，「安全」永遠放在我們心中的首位。近期外界以核電同仁是在承受壓力下，勉強營運危險電廠，這樣的觀點，相信大家不會認同，因為它非但有違事實，更是對核能從業人員的打擊與誤解。

發展再生能源是世界趨勢，配合政策大步向前，這是台電應負的任務。國際上雖不乏同時發展無碳核電做為搭配，惟國內政策既是減核，我們自當順應。再生能源發展得快，核電提早功成身退亦無怨無悔。值此過渡時期，大家該秉持的態度，應是確保電廠營運安全、維持待命中機組隨時可用，努力做好除役規畫，以及結合各界力量，為放射性廢棄物的未來找出路。

不管是運轉中電廠的走向除役，或是龍門電廠的不再封存，核能事業部及台電公司都會為從業人員規劃未來，包括投入這個行業的年輕一代。只要大家全力以赴，相信民眾自然會認同我們，政府也會正視核電員工的貢獻與權益。除役工作有 25 年的長路要走，也是另外一門核能技術，更是我們未來的責任所在。現役的電廠不但還有好幾年須照顧，它們的角色，對供電是否無虞，絕對具有舉足輕重的影響力。凡我核能從業同仁，不但不能妄自菲薄，更應以承擔轉型成敗為己任。

請堅持我們的熱忱，為所當為，相信社會自有公斷。

核能副總經理兼事業部執行長

蔡富豐 謹致

核一廠燃料水棒連接桿斷開
真相問與答

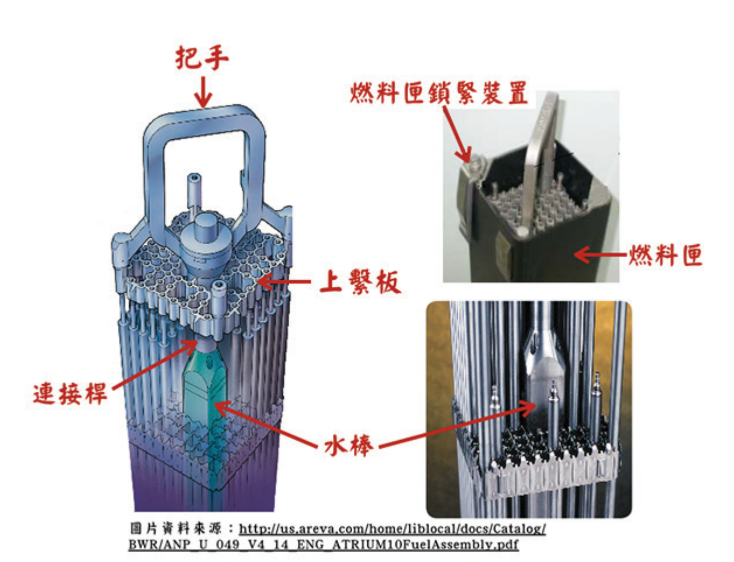
文・編輯室

問：是如何發現燃料束把手鬆脫？

答：

一般而言，核電廠每運轉約 18 個月須停機大修，更換部分的燃料及進行設備維護，此稱為一個燃料週期。核一廠 1 號機組全爐心中共有 408 束由亞瑞華（AREVA）公司所生產的 ATRIUM-10 燃料束，每次週期約更換 100 束，並須重新調整所有燃料束的位置，稱為燃料布局。

核一廠於 103 年 12 月 10 日開始進行 1 號機第 27 次大修作業，並進行燃料束挪移及填換作業；在 12 月 28 日於爐心內抓取一束已使用 3 個週期的燃料時，發現燃料吊車抓鉤的重量指示較輕，疑似把手鬆脫情形。經檢查該燃料束確認是水棒連接桿斷開（圖 1）。



▲ 圖1 核一廠燃料元件示意圖

問：為什麼會發生燃料束把手斷開？

答：

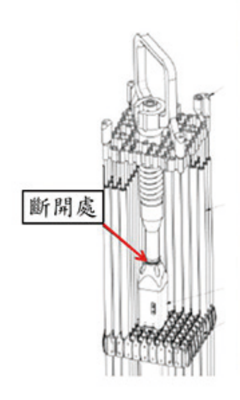
連接桿斷開的原因，經燃料廠家檢驗發現連接桿斷開處有表面瑕疵，此表面瑕疵在應力作用和環境影響的因素下，經由沿晶應力腐蝕龜裂機制形成裂縫起始，隨著輻射照射，再轉為輻射促進腐蝕龜裂機制，使裂縫往連接桿內部成長，最終在本次大修進行該束燃料吊運過程中，因殘留面積不足以支撐該束燃料重量而導致連接桿斷開（圖 2）。

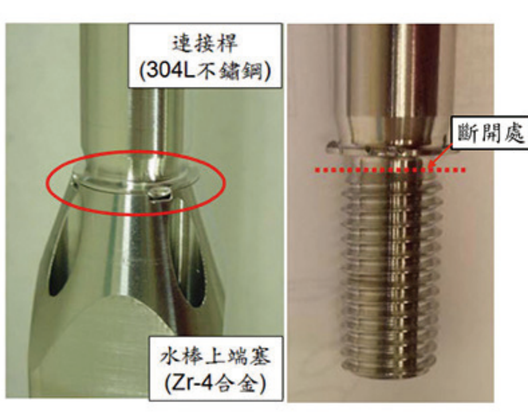
原能會評估認為，連接桿斷開應屬長期應力和裂縫成長機制所造成，也評估認為上述各項因素同時發生的機率很低，可說明此事件為何過去未發生過，而歸屬於單一偶發失效的合理性。

問：其他電廠或機組是否會發生同樣的問題？

答：

核一廠 1 號機爐心內所有的燃料束都已





▲ 圖2 水棒連接桿斷開處相對位置



▲ 圖3 水棒連接桿斷開處

執行吊升測試，重量指示也都正常，確認所有燃料束水棒連接桿沒有斷開的情況。至於核一廠 2 號機和核二廠 1、2 號機有使用同型的 ATRIUM-10 燃料，目前並沒有發生相同的問題。

雖然目前沒有其他電廠發生同樣的問題，燃料供應廠已針對與異常燃料束同型的燃料完成「燃料吊運指引」，強化燃料吊運安全，並通知國際上有使用該型燃料的電力公司。於本案審查期間，美國已有兩座電廠依據該燃料吊運指引順利完成大修燃料挪移，並已啟動運轉，至今未發現異常。

問：這次事件發生的原因和核一廠老化有沒有關係？

答：

由於燃料使用是以燃耗值為使用限制，當燃料達到該限制前即退出換新（約 3-4 週期，約 54-72 個月）。本案異常的燃料束遠低於原能會核准的燃耗限值（54.0 GWd/MTU），而連接桿斷開的原因，經燃料廠家檢驗發現連接桿斷開處有表面瑕疵，此表面瑕疵在應力作用和環境影響的因素下形成裂縫，並往連接桿內部成長，此與電廠 40 年的運轉年限所考量的老化效應無關，並非電廠老化所致。

（註：燃耗值是指核燃料在反應爐中因核分裂反應而消耗可分裂材料的累計值，一般是以每噸鈾所發出的能量來表示。）

參考資料：

原子能委員會
http://www.aec.gov.tw/%E7%84%A6%E9%BB%9E%E5%B0%88%E5%8D%80/%E6%A0%B8%E4%B8%80%E7%87%83%E6%96%99%E6%B0%B4%E6%A3%92%E9%80%A3%E6%8E%A5%E6%A1%BF/%E5%95%8F%E7%AD%94%E9%9B%86--218_2482_2487.html#4

薛丁格的貓

文・編輯室



假設有一個既不能窺視、也不會向外界傳播聲音的箱子。箱子裏放了一隻貓，牠健康、活潑，對自己所面臨的困境卻一無所知。因為箱子內這隻貓的身邊放著一架意味著牠必死無疑的物理儀器：一種放射性物質，而且將在一小時內的某一時刻發生原子蛻變。然而蛻變會發生在這一小時內的哪一時刻，沒有人知道。

一旦發生原子蛻變，就會透過蓋革（GM）計數器產生電脈衝，脈衝會使一把錘子落到一個含毒的瓶子，此時將發生的事表示這隻貓走到生命盡頭：錘子砸碎玻璃瓶，毒氣立刻外溢並揮發，貓聞到毒氣後隨即一命嗚呼。然而這裏面所發生的一切，外面的人既看不見，也聽不到或者感覺不到。甚至最認真觀察的人也無法斷定，箱內的核蛻變是否已經完成，或仍然需要等候。因為放射性核種的一個特性是，其原子不是在某一特定的時間點，而只是以某種機率在一特定的時間內發生蛻變。換句話說，一個特定原子的蛻變，在時間上是無法準確預報。人們只能用類似以下的話表述：它極有可能就在未來的一小時之內發生。

對箱子裏的貓來說，在可能發生蛻變的這一小時內，外面觀察的人沒有一個能說，此

時貓仍活著或已經死了，原因是沒有人知道原子蛻變的準確時間。從某種意義上說，此時這隻貓生與死並存，或兩者都無從談起。牠處於一種介於生與死之間的混合狀態之中。誠然，我們每時每刻都可以打開箱子，看看貓究竟是活著，還是已經死了。

值得這隻貓慶幸的是，這只是奧地利物理學家薛丁格[註1]於1935年的一次虛擬的實驗。薛丁格想藉由這種方式舉例說明，整個世界都帶有這種不確定因素。

薛丁格是量子力學的鼻祖之一。量子力學是一門以數學方式描述和解釋微觀粒子運動過程的科學。在這個微觀世界發生的，全是極為光怪陸離的事。在這裏，粒子可同時分布在幾個不同位置，它們相互之間能以極高速度溝通，或無需過渡從一處躍至另一處。薛丁格透過「貓」的形像發現一個道理，採用通俗的方法描述一個極為複雜的思維過程，是最能為眾人所理解。或許這就是他的貓何以如此聞名遐邇的緣故。

流浪漢

薛丁格一生為人誠摯，淡泊名利，在生活中不拘小節，從來不擺教授和名流的架子。他在一次出席布魯塞爾物理學界權威聚會的索爾維會議[註2]時，下了火車後，他用帆布包背著自己的全部行李，步行走到會議代表下榻的旅館，被誤認為流浪漢而被擋在門外，結果不得不經過許多盤查才得以進入自己的房間。

儘管薛丁格淡泊名利，但他的祖國和人民還是給予他許多榮譽和褒獎，使晚年的他登上了榮譽的最高峰。1956年，他剛剛回國就獲得了維也納城市獎。

接著政府又設立了以他的名字命名、由奧地利科學院頒發的獎金，而他也是第一位獲獎者。1957年，他又先後獲得了奧地利藝術



▲ 薛丁格（圖片來源：維基百科）

和科學勳章、西德高級榮譽勳章。他還被世界各國許多著名大學授予榮譽學位，並且是包括教皇科學院、倫敦皇家學會、普魯士科學院和奧地利科學院在內的許多學術團體的成員。

1961年1月4日，薛丁格因突發大面積動脈硬化而逝世，長眠於他所喜愛的祖國奧地利。斯人已逝，風範長存。奧地利人民將永遠銘記著他。

註1：薛丁格（Erwin Schrdinger），1887-1961，獲得1933年諾貝爾物理學獎。

註2：索爾維會議（Solvay Conference），Solvay為比利時化工界巨擘，捐款資助物理學會議。

參考資料：

輻射軼聞，翁寶山編著，民國95年11月，核能資訊中心出版

愛美的女性要小心！

文‧編輯室



12 種美妝產品的化學物質會對健康造成威脅

美國聯邦的研究人員針對 82,000 種常使用於個人照護產品的成分進行評估，結果發現其中有 1/8 含有農藥及可能的致癌物質，具有神經毒性或者干擾荷爾蒙作用，以及造成生殖毒性的物質。

為了能幫助消費者做出明智的選擇，加拿大消費者權益維護組織——大衛鈴木基金會指出需要特別留心的 12 種化學物質。研究報告中強調，有 80%的美妝產品中至少含有 1 種下述的化學物質，而半數以上則使用多種下述的化學物質：

1.油脂抗氧化劑BHA和BHT
2.煤焦油染料（Coal tar dyes）
3.DEA相關成分
4.鄰苯二甲酸二丁酯（Dibutyl phthalate），這是一種會出現在護甲產品上的增塑劑，被懷疑可能是內分泌干擾物。
5.甲醛（Formaldehyde）
6.對羥基苯甲酸（Paraben）
7.人工香料
8.聚乙二醇 （Polyethylene glycols, PEGs）
9.礦物脂（Petrolatum）
10.矽氧烷（Siloxanes）
11.十二烷基醚硫酸鈉
12.三氯沙

在選購這類的商品時，消費者除了要檢閱產品標示外，還可利用一些網路資源來查詢產品的原料成分是否安全，如 CosDNA 網站：（http://www.cosdna.com/cht/）。

80%以上的防曬產品沒有防曬效果，甚至含有有害成分

一項新的研究發現，80%的市售防曬產品並沒有達到其所宣稱的效果，甚至有些含有有害成分。

2015 年美國環保工作小組（Environmental Working Group, EWG）分析後公布，1,700 項防曬產品、護唇膏及保濕產品中，經測試後發現有 4/5 的產品未達其宣稱的效果，還可能含有令人擔憂的成分，如羥基苯酮及維生素 A。

羥基苯酮可以經由皮膚進入血液循環中，其有類似雌激素的功能，會擾亂內分泌系統。有些研究發現，維生素 A 可能會提高皮膚對太陽的敏感度，也可能會促使皮膚腫瘤的生成及加速病變的發展。

美國食品藥物管理局表示，防曬產品的防曬係數（SPF）超過 50 其實並沒有比較具有防護能力。此外，防曬係數僅表示抵抗 UVB 的保護力，能夠避免太陽曝曬灼傷的能力，但對於會加速皮膚老化、抑制免疫系統、會增加罹患皮膚癌風險的 UVA 並沒有防護能力。

美國環保工作小組的科學家和健康專家提供一些防曬的建議：

1.挑選合適的防曬係數

選擇防曬係數界於 15-50 之間的產品，並按照使用說明使用。

2.閱讀產品標示

選擇天然、可以阻絕 UVA 和 UVB 的成分，如二氧化鈦、氧化鋅。避免含有羥基苯酮（oxybenzone）、甲基異噻唑啉酮（methylisothiazolinone）及那些與氧苯酮，甲基異和棕櫚酸維生素 A。

3.不要使用噴霧劑型的防曬產品

噴霧型的防曬產品使用上比乳狀及霜狀的產品更好用，但防護性不完全，且噴霧型的產品有吸入性的危險，遇到火源有點燃風險。

4.減少曝曬在陽光下的機會

長時間曝曬在陽光下容易有曬傷、皮膚癌及產生皺紋的風險。選擇在早晨或傍晚外出，到海邊時撐傘，在樹下野餐，在涼亭下等車，儘可能的遮陽，減少被陽光曝曬的機會。

5.用衣帽遮蔽皮膚

長時間在陽光下時要穿著長袖及帽子。另外太陽眼鏡也可以幫助眼睛不受紫外線危害。

6.留意紫外線指數預報

外出前先確認紫外線指數，幫助規劃您的戶外行程。

安潔莉娜裘莉的手術會造成更年期提前的風險

安潔莉娜裘莉手術去除她的卵巢，可能可以減少罹患婦科癌症的風險，但也可能導致更年期提前到來。

裘莉因為檢驗出帶有基因突變基因 BRCA1，顯示有較高罹患乳癌及卵巢癌的風險。因此，已在先前進行雙乳切除手術以預防乳癌，她又再進一步去除她的卵巢和輸卵管，以預防卵巢癌。

專家表示，切除卵巢能降低罹患卵巢癌風險達 90%，但也將會使她提早在 39 歲就進入更年期。而更年期提早在 40 歲前到來，會增加罹患心臟疾病、神經系統問題、骨質疏鬆症、抑鬱和焦慮的風險。

（以上資訊由喜悅健康診所提供）

英國批准辛克利角核電廠計畫

文・編輯室



▲辛克利角 C 核電計畫（圖片來源：AREVA 與 EDF ENERGY）

今（2016）年 9 月 15 日，英國政府正式批准由中、法企業合資的辛克利角 C 核電廠（Hinkley Point C）2 部機組建設計畫，終結了與中、法之間僵持數個月的不確定性，同時也暗示了英國對外商投資國家關鍵基礎建設，抱持著非常謹慎的態度。

這座由法國電力公司（EDF）承建，中國廣核集團（以下簡稱中廣核）參與投資的核電廠，造價高達 180 億英鎊（約 7,200 億新台幣），被稱為「史上最貴的核電廠」，但整個過程可謂一波三折，最近一次預計的供電時間已比最初計畫往後推遲了 8 年。於 5 月新上任的英國首相梅伊，在 7 月簽署「最終投資協議」儀式的幾個小時前做出驚人的舉動——說她需要時間多方面評估這次的建設計畫，包含國家保防的利害關係等等，導致該計畫再度暫緩，但英國政府也承諾，將於 9 月做出最終決定。

兩個月後，英國政府終於在 9 月 15 日上午發布聲明，在對該計畫展開綜合審查，以及與 EDF 協商後，決定繼續這座英國 20 年以來第一個核電廠計畫。但英國也連帶提出一些要求，像是 EDF 若要出售控股權，必須得到英國政府的批准，在該座電廠建成後，英國政府也有權知道、干預 EDF 的股權出售等。英國政府也表示，在此次之後的國家重要基礎設施計畫（包含核電建設計畫在內），英國政府將實施新的保防措施，例如英國政府將持有一定的股份，在核電廠控制權發生異動時也可出手

干預，以確保國家安全等等，為日後外資投資英國基礎建設新增法律框架。

而中廣核也表示對此結果感到高興，希望能與 EDF 一同推動英國辛克利角、賽茲韋爾 C（Sizewell C）與布拉德韋爾 B（Bradwell B）等相關核電計畫，為英國提供安全、永續的低碳能源。並提到中廣核與 EDF 已有長達 30 年的合作經驗，將替英國這三大核電廠的興建奠定穩定的基礎，期望能以中廣核自身所累積的經驗，在英國未來低碳能源的需求中，扮演重要的角色。

中國外交部發言人也在英國政府發表聲明後火速回應，稱辛克利角核電計畫一直得到三方政府與企業的大力支持，是中、英、法三方互利互惠、一同合作經營所達成的成果。中國對英國政府批准該計畫的決定表示歡迎，希望能在三方努力合作下儘快執行後續作業，實現互利共贏。

辛克利角核電計畫的批准也代表著中廣核將成為第一個進入西方先進國家的中國核能企業。中廣核自 2007 年即開始踏出進軍國際市場的腳步，除了與 EDF 簽署協議，投資國內外核電廠與擴大技術合作之外，亦陸續於多個國家設立代表處，就近爭取國外核電廠建設計畫、簽署核電合作諒解備忘錄與同意書等，展現其拓展國際市場的企圖心。

英國政府與業界因為 2012 年的英國地平線核電公司（Horizon Nuclear Power）競購案，注意到中廣核在核電建設及營運方面的實力，以及其參與英國核電廠建設的意願。中廣核也於 2013 年初受 EDF 邀請，一同合作開發英國核電市場，並於同年 3 月正式啟動與 EDF 於「英國新建核電計畫」的協商。英國政府更於數個月後致函中廣核，代表英國能源局歡迎中廣核投資開發英國核電市場，對其開發英國核電市場的方向表示認可，並向中廣核通知英國的核電相關政策，以及整體計畫的進展。

2014 年 3 月，在中國領導人習近平與法國總統奧朗德的見證下，中廣核與 EDF 在巴黎簽署《英國新建核電計畫工業合作協定》，正式確認中廣核將參與 EDF 在英國新建核電計畫的開發與建設，中廣核也隨後於倫敦成立辦事處。

2015 年中，在中國總理李克強訪法期間，中、法兩國再度簽署《民用核能合作聯合聲明》，將由中廣核為首的中方聯合企業，與法國一同合作建設英國 3 座核電計畫。當時的英國財政大臣也於 9 月底訪華期間，宣布英國政府將為中國企業參與建設的辛克利角核電計畫，提供 20 億英鎊的投資擔保。中廣核董事長也於同年 10 月底，與 EDF 首席執行官在倫敦正式簽署協議，將共同投資辛克利角 C 核電計畫，並一同推進賽茲韋爾 C 與布拉德韋爾 B 兩大後續核電廠建設計畫，其中的布拉德韋爾 B 將採用中國自產第三代核電技術──華龍一號。

今年 7 月 28 日，EDF 董事會決議授予 EDF 董事長全權負責簽署所有辛克利角核電計畫相關的合約與協議，但英國卻於隔天的最終投資協議會議之前突然發布聲明，暫緩該協議的簽署，並承諾將於今年初秋做出決定。梅伊於 9 月初受訪時就此事作出解釋，目前正多方諮詢專家並進行周全的考慮，並強調一定會在這個月作出最終決定。而中廣核與習近平也對此表示理解，會對該計畫保持耐心，終於在梅伊赴中參加 G20 杭州峰會後傳出好消息，宣告中廣核正式進入英國核電市場。

參考資料：

1.http://time.com/4494859/britain-approves-hinkley-point-nuclear-power-plant/
2.http://www.cgnpc.com.cn/n471046/n471126/n471156/c1310636/content.html

核能新聞

文．編輯室

國外新聞

日本伊方電廠3號機組滿載商轉

四國電力公司於今（2016）年 9 月初宣布，位於愛媛縣的伊方核電廠 3 號機組正式投入商轉。與日本其他核電機組相同，在福島事故後，伊方 3 號也停機接受檢查，因應日本新制訂的核安規範實施所需的補強工程。四國電力公司自 8 月 12 日開始該座 84.6 萬瓩壓水式反應爐的重啟過程，伊方 3 號於 3 天後恢復運轉，10 天後達到 100% 的運轉容量。四國電力公司也藉此對愛媛縣以及伊方町所有居民的「努力、理解與合作」表達感謝，並補充伊方 3 號將會是該公司「穩定、便宜的主要電力來源」，他們也保證不會中斷提供民眾電廠安全管理的資訊。至於伊方 1 號機組，目前已確定將除役，2 號則仍未做出重啟或關閉的決定。

伊方 3 號成為日本新式核安規範下第 5 座重啟運轉的核電機組。首批重啟的反應爐為鹿兒島川內電廠 1、2 號機，分別於去年 8 月與 10 月重新開始運轉；福井縣高浜電廠 3、4 號機雖然也在今年 1 月底與 2 月底跟進，但 4 號機卻在重啟後第 3 天疑似內部發電機異常而停機，地方法院因此要求 3 號機一同停止運轉，再次接受檢查，至今兩座機組仍處於閒置狀態。而日本首批重啟的川內 1、2 號機組，因新上任的鹿兒島縣長於 8 月底提出「停止反應爐運轉，並重新檢查」的要求，九州電力公司也於 9 月 27 日開始暫停營運該兩部機組，重新進行特別檢測，以確認各發電設備性能是否安全完善。

Nuclear International Engineering, 09/23/2016

日本美浜電廠3號機組重啟審查書草案通過

日本原子力規制委員會（NRA）於 8 月初召開例行會議，就運轉將滿法定年限 40 年的美浜電廠 3 號機組所提出的重啟申請，認為其符合新的核安規範，給予初步肯定。雖然美浜 3 號在 11 月底期限到來前仍需通過針對延役的審查，但該座機組已克服了最大難關，NRA 的說法也意味著該座機組基本上已通過審查，將成為福島事故後，繼高浜 1、2 號機組，第 3 例通過審查的屆齡核電機組，3 座機組均由關西電力公司營運。

美浜 3 號自 1976 年 12 月初開始運轉，將於今年 12 月屆齡 40 年，關西電力公司於去年 3 月向 NRA 提出延役申請，並於一個月後宣布 1、2 號機除役。美浜 3 號在通過所有審查程序後，還要執行於審查過程中決定追加的安全加強工程，重啟預計要等到 2020 年。

NIKKEI Asian Review, 08/04/2016

韓國月城核電廠4部機組因地震停機

韓國水力核能電力公司（KHNP）因為 9 月 12 日發生的兩次地震，於地震後隔日將位

於東南部月城核電廠的 4 部機組(總裝置容量接近 280 萬瓩)全部停機,KHNP 也表示,其餘核電機組並無受到地震影響。這兩次地震震級分別為 5.1 與 5.8,均發生在靠近月城核電廠附近的慶州(慶州也為韓國中低放廢棄物處置場最終場址)。韓國氣象局表示,這次 5.8 級的地震為韓國史上級數最高的地震。

韓國 KHNP 由韓國國營企業「韓國電力公司(KEPCO)」所持有,負責營運國內 25 部核電機組,生產國家超過 1/3 的電力。根據韓國核能管制機構「核能安全保安委員會(NSSC)」表示,韓國核電廠的設計為可承受 6.5 或 7 級的地震,NSSC 也於福島事故後下令將所有舊式核電廠抗震等級提高至此等級,而所有加強抗震等級的工程也將於明年完工。

Nuclear International Engineering, 09/15/2016

美國新墨西哥州放射性廢棄物貯存場將重啟?

美國能源局(DOE)於最近表示,對於 12 月重啟聯邦政府唯一的地下放射性廢棄物貯存場有 8 成的信心。根據新墨西哥州當地的新聞(Santa Fe New Mexican)報導,聯邦政府在今年 3 月時,保證會完成位於新墨西哥州的「放射性廢棄物隔離先導場(Waste Isolation Pilot Plant)」的清理並重啟。

該座隔離先導場在 2014 年時發生放射性物質自貯存罐外洩的意外,存放於內部的一個放射性廢棄物貯存罐,因封裝不當導致貯存罐破裂,場內有一部分遭到放射性汙染,該座隔離先導場也因此關閉。美國能源局也因為該場的關閉以及清理,耗資數億美元。而美國政府責任署(GAO)於 8 月的審計報告中表示,該機構早就知道要在原本訂定的重啟時間(今年 3 月)重啟只有 1% 的可能性,且因為多次失算導致重啟延遲 9 個月,花費也比原先預計的除污價格多了 6,400 萬美元(約 19 億新台幣),該座隔離先導場也因為延遲重啟而必須另外負擔高額的運轉支出。有專家認為,重啟該座隔離先導場估計將花費更多的金錢與時間,對能源局是否真的能在年內重啟該場提出質疑;政府責任署的審計委員亦在 8 月的審計報告中如此註解:「能源署過去多次的預算超支與錯估時間,紀錄不佳」,對該場預計於年底重啟亦抱持著不信任的態度。

Fox News, 08/06/2016

美國紐約州提出核電補貼建議

為了獎勵紐約州北部的核電廠在其零碳排放方面的貢獻,美國紐約州公共事業部已經將賦予津貼的提案向上呈報,如果該提案獲准實施,預計紐約州政府將給予價值 50 億美元(約 1,500 億新台幣)的補貼。

紐約州公共事業委員會在今(2016)年 8 月初批准的《清潔能源標準(CES)》中,將核能發電列入無碳排放能源,並規定 CES 必須建立機制來支持,以保護紐約州北部的核電廠不受經濟原因而導致停運的危機。美國公共事業部已於前些時日完成提案的制定,並邀請民眾一同提出意見討論。該提案的制定是參考國際知名諮詢公司 Brattle 集團的一份報告,該份報告發現,因化石燃料價格大量下跌而導致有經濟風險的核電廠如果停止運轉,以兩年為一個周期來計算,由化石燃料生產相同電量所排放的二氧化碳造成的損失,預計高達 14 億美元(約 420 億新台幣)。

因此,美國公共事業部覺得,為核電廠

提供補貼所獲得的利益比成本支出更有價值，在該方案開始執行後因碳排放降低所獲得經濟、環境相關的利益，預計將高達 50 億美元，扣掉支出後仍有 40 億美元（約 1,200 億新台幣）的淨利。

World Nuclear News, 07/12/2016

菲律賓考慮重啟已封存核電廠

菲律賓能源部長於近期表示，為了確保潔淨、便宜的長期電力來源，菲律賓考慮重啟國內唯一的核電廠——巴丹（Bataan）。該座電廠建於 40 年前，耗資 20 億美元（約 600 億新台幣），但卻因安全問題從未使用。與現今 20 多個國家相同，菲律賓也開始考慮將「核電」這個選項加入國家能源結構當中。

另有菲律賓能源部相關官員於公開場合中提到，要重啟位於巴丹省 62 萬瓩的核電廠，需要投入超過 10 億美元（約 30 億新台幣）的資金；但因菲律賓預計至 2030 年前，每年電力需求的增加速度約為 5%，而核能將會是滿足該需求的選項之一，「我們必須詳細衡量所有的選項，不僅要滿足裝置容量的需求，還要考慮環境的永續發展以及義務等等」，並表示目前已邀請包含來自 IAEA 的專家學者，協助菲律賓釐清下一步，並做出適當的決定。

巴丹核電廠的建設工程於 1976 年開始，1984 年完工，當初建立是為了因應不斷上漲的能源價格。但因為該座核電廠坐落於地震帶上，且靠近一座休眠火山，被認定為不夠安全因而從未啟用。雖然該座火山於 1991 年（核電廠完工後）的噴發並未對巴丹核電廠造成任何影響，但該座核電廠仍在車諾比事故後宣告封存，10 年前菲律賓曾考慮重啟，然而福島事故又再次刷新官方對其核安方面的擔憂。

Reuters, 08/30/2016

俄羅斯首座VVER-1200壓水式反應爐併網發電

俄羅斯國家原子能公司（Rosatom）最近宣布，位於俄羅斯西部的新沃羅涅日斯基第二核電廠（Novovoronezh II）1 號機組，在通過大規模的檢查與測試後，已正式併網發電。該部機組也被稱為新沃羅涅日斯基 6 號機，型號為 VVER-1200/392M 的壓水式反應爐，淨裝置容量高達 111.4 萬瓩，新沃羅涅日斯基核電廠的總裝置容量也在該部機組建造完成後提高 1.5 倍，Rosatom 預計該部機組的運轉將帶動電廠周圍地區的發展。

新沃羅涅日斯基第二核電廠計畫建造兩座反應爐，併網發電的 1 號機，其型號所採用的技術為 VVER-1000 的升級版，於 2008 年 6 月開始建設工程；2 號機組則於隔年 7 月開始建造。至於新沃羅涅日斯基第一核電廠共有 5 部機組，1-2 號機目前處於除役階段，3-5 號機運轉中（3、4 號機在 2001、2002 年獲准延役 15 年，預計將於今明兩年除役）。

除了新沃羅涅日斯基第二核電廠的兩部機組之外，俄羅斯政府也於今（2016）年 8 月發布的法令中表示，將於 2030 年前再建造 11 座反應爐，而這 11 座反應爐計畫並不包含目前正在建設中的反應爐以及漂浮式核電廠，此舉將大大提高核電在國家能源結構中所占的比例。另外，該法令也提到數個中低放射性廢棄物最終處置設施（場）以及高放處置場共 6 個場址，均已獲准。

World Nuclear News, 08/05/2016 & 08/10/2016

國內新聞

台電舉行核一廠除役計畫第二階段環評公開說明會

台電 9 月 3 日上午 10 時在新北市石門國中體育館舉行「核能一廠除役計畫第二階段環境影響評估公開說明會」，由台電總經理鍾炳利主持。台電表示，依據行政院環保署環境影響評估審查委員會第 297 次會議審查決議，於今年 7 月 19 日至 8 月 21 日公開陳列環境影響說明書後，舉行公開說明會向民眾說明核一廠除役計畫第二階段環境影響評估內容。

台電指出，核一廠 1、2 號機營運執照分別於 107 年及 108 年屆期，台電依法在停機運轉前 3 年提出除役計畫，送原能會審查同意並核發除役許可後，將展開為期 25 年的除役作業。前 8 年為停機過渡階段，進行廠區放射性存量評估，並執行除污作業；接續 12 年為除役拆廠階段，將用過核燃料移至乾式貯存設施，拆除反應爐及汽機組件等。接著廠址最終狀態偵測階段歷時 3 年，持續偵測廠區環境輻射值；最後歷時 2 年拆除剩餘建物，進行土地復原。

台電說明核一廠除役後，大部分的廠區土地會復原再利用，將配合政府政策、公司營運策略及地方發展方向進行規劃，其中小部分的廠區則作為暫存放射性廢棄物之用。台電強調，目前已參照荷蘭、比利時及瑞士等國際做法，希望尋找無人島或準無人島，規劃興建放射性廢棄物集中式貯存設施，預定今年 9 月份完成可行性報告，希望未來完成後盡快遷移暫存在核一廠的放射性廢棄物。

台電強調，核一廠的除役作業以安全及民眾健康為第一優先，將擬定並執行核能安全計畫、緊急應變計畫、環境監測、管理計畫、施工計畫等，依規定進行各項作業。核一廠除役期間，也會依據原能會核准的環境監測計畫執行環境監測，包括輻射劑量率、空氣品質、噪音、水質等，並將相關監測結果上網公告。

2016.09.03，本刊訊

除役前維持運轉 台電提報核二廠裝載池存放用過核燃料計畫

針對原能會於 8 月 19 日公告接獲台電「核二廠燃料廠房三樓裝載池設備修改及安裝工作」申請案，台電表示，為讓核二廠機組在除役之前可繼續運轉發電，避免影響明年供電能力，台電仿照美國核電廠既有作法，利用裝載池存放用過核燃料。台電強調，由於核二廠用過燃料池幾近飽和，這項計畫可確保核二廠兩部機組能在除役前維持運轉，挹注全台電力系統的供電能力，這項計畫符合政府能源政策，核二廠維持運轉到營運執照屆期，再依照相關規定除役。

台電表示，核二廠 1 號機的除役日期是 110 年 12 月 27 日、2 號機為 112 年 3 月 14 日，本計畫預計將 4 組格架安裝在核二廠的護箱裝載池中，提供每部機組各 440 束的燃料空間，讓兩部機組在除役前持續運轉 3 年，1 號機可運轉到 109 年 8 月、2 號機則可至 109 年 10 月。

（2016.08.22，本刊訊）



核能發電產生的核廢料只要妥善處理，便無安全上的疑慮

何博士的日常豆知識

Q：高放射性廢棄物境外處置要花很多錢，會因此漲電價嗎？

核能發電

每度提撥0.17元

並不會！

從76年起提撥「核後端基金」至今已經累計超過2,400億，足夠支付小規模境外處置費用不會因此影響電價！(112億只占不到5%)

高放射性廢棄物境外處理政府一定會藉此多收錢啦！

核後端基金

核後端基金足夠支付小規模核廢境外處置，不會因此調漲電價